

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

System pro ukládání vzorků půdy

Soil Sample Storage System

Student:

Jan Bém

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Robert Pastor

Ostrava 2019

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Bém**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R013 Robotika
Téma: **Systém pro ukládání vzorků půdy**
Soil Sample Storage System
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Analýza současného stavu - přehled systémů odběru půdy.
2. Specifikace požadavkového listu.
3. Hardwarová část.
 - 3.1. Popis vybraných komponentů.
 - 3.2. Popis měřených veličin a způsobu jejich měření.
4. Mechanická část - konstrukční návrh zařízení a rozmístění komponentů.
6. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. ELLERY, Alex. Planetary Rovers, Robotic Exploration of the Solar System London: Springer, c2016. ISBN 978-3-642-03258-5. 419 s.
2. Kárník, L., Knořlíček, R., Marcinčin, J. N. Mobilní roboty. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-2-5.
3. Anderson, R.C., Jandura, L., Okon, A.B. et al. Space Sci Rev (2012) 170: 57. <https://doi.org/10.1007/s11214-012-9898-9>
4. ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
5. ČSN ISO 690 Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Robert Pastor**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20. května 2019

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2019

.....


Podpis autora práce

Jan Bém

Tršice 15

783 57, Tršice

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BÉM, J. Systém pro ukládání vzorků půdy: Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 20019, 57 s.

Vedoucí práce: Ing. Robert Pastor

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem modulu na ukládání čtyř vzájemně oddělených vzorků půdy. Požadavkový list byl z části vytvořený z pravidel soutěže ERC (European Rover Challenge) a z druhé části mým vedoucím práce. Na začátku práce je provedena rešerše uchovávání vzorků půdy a analýza současného stavu na soutěžním robotu. Z těchto poznatků byly vytvořené tři varianty modulů, tj. nádoba včetně zásobníku. Pro výběr optimální varianty byla použita kritériální analýza. Vítězná varianta byla vypracována v programu PTC Creo a zkontrolována pomocí výpočtů. Na konci bylo zpracované cenové zhodnocení a vypracovaná výkresová dokumentace jednotlivých obráběných komponent.

ANNOTATION OF THE BACHELOR THESIS

BÉM, J. Soil Sample Storage System: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB –Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2019, 57 s. Thesis supervisor: Ing. Robert Pastor

The bachelor thesis deals with the design of the module for storing four mutually separated soil samples. The list of requirements was based on ERC (European Rover Challenge) competition rules and some of the requirements were added by my thesis supervisor. At the beginning of the thesis, the research of the sample storage systems is described and analysis of the current state of the rover is done. Three variants of the modules were created from this knowledge, i.e. container, including the holder. A critical analysis was used to select the optimal variant. The optimal variant was designed in the PTC Creo program and checked by calculations. At the end the production price was evaluated and drawing documentation of each of the machined parts was created.

Obsah

Seznam použitého označení.....	8
1 Úvod.....	10
2 Rešerše stávajících možností ukládání vzorků půdy	11
2.1 Specifikace a rozdělení zásobníků	11
2.2 Odebírání a skladování vzorků půdy.....	12
3 Analýza současného stavu	16
3.1 Popis a umístění stávajícího modulu v roveru	17
4 Požadavkový list	18
5 Varianty řešení nádoby	19
5.1 Varianta 1	19
5.2 Varianta 2	21
5.3 Varianta 3	23
6 Výběr optimální varianty	25
6.1 Hodnoty kritérii	25
6.2 Hodnotící kritéria	25
6.3 Určení významnosti	26
6.4 Hodnocení variant	27
7 Konstrukční návrh.....	28
7.1 Popis a umístění modulu v aktuálním Roveru	28
7.2 Nádoba	29
7.2.1 Detailní řez spodní části nádoby	30
7.2.2 Detailní řez zadní strany nádoby	30
7.3 Zásobník.....	31
8 Popis vybraných komponentů.....	32
9 Popis měřených veličin a způsob jejich měření.....	36
10 Kontrolní výpočty	37
10.1 Výpočet pružin	37

10.2	Kontrola horního čepu.....	39
10.3	Výpočet prostředního čepu	42
10.4	Pevnostní kontrola navijáku.....	45
10.5	Kontrola horního víka	46
10.6	Kontrola ložisek	47
10.6.1	Horní ložiska.....	47
10.6.2	Spodní ložisko.....	47
10.7	Kontrola servomotoru	48
11	Cenové zhodnocení.....	49
	Závěr.....	50
	Použitá literatura	52
	Seznam příloh	55

Seznam použitého označení

b	Posunutí přímky	[-]
b_1	Šířka podpor horního čepu	[mm]
b_2	Šířka podpor prostředního čepu	[mm]
C_{0h}	Základní statická únosnost horních ložisek	[N]
C_{0s}	Základní statická únosnost spodního ložiska	[N]
d	Zvolený průměr horního čepu	[mm]
d'	Předběžně vypočítaný průměr horního čepu	[mm]
d'_2	Předběžně vypočítaný průměr prostředního čepu	[mm]
d_2	Zvolený průměr prostředního čepu	[mm]
F_a	Reakce v podpoře A	[N]
F_b	Reakce v podpoře A	[N]
F_h	Síla na víko od odebraného vzorku	[N]
F_l	Potřebná síla lana v dané poloze	[N]
F_{l1}	Síla působící v uzavřené poloze	[N]
$F_{l1,2}$	Proměnlivá síla v laně	[N]
F_{l2}	Síla působící v otevřené poloze	[N]
F_{lk}	Potřebná kolmá síla lana v dané poloze	[N]
F_{lmax}	Maximální síla v laně	[N]
F_v	Síla působící do čepu	[N]
F_{v1}	Síla působící na čep v uzavřené poloze	[N]
F_{v2}	Síla působící na čep v otevřené poloze	[N]
F_{vmax}	Maximální síla působící na horní čep	[N]
F_{vmax2}	Maximální síla působící do prostředního čepu	[N]
g	Gravitační zrychlení	[m.s-2]
k	Směrnice přímky	[-]
k_l	Koeficient bezpečnosti pružin	[-]
k_2	Zvolená bezpečnost horního čepu	[-]
k_3	Zvolená bezpečnost prostředního čepu	[-]
k_4	Míra bezpečnosti houževnatých materiálů	[-]
k_5	Výsledná bezpečnost horních ložisek	[-]
k_6	Výsledná bezpečnost spodního ložiska	[-]
k_7	Výsledná bezpečnost servo motoru	[-]
l	Vzdálenost mezi podporami u horního čepu	[mm]

l_2	Vzdálenost mezi podporami u prostředního čepu	[mm]
m	Maximální hmotnost odebraného vzorku	[Kg]
MI	Krouticí moment vyvozující jedna pružina	[Nmm]
M_{k1}	Krouticí moment od lana na navijáku	[Nmm]
$M_{k_{max}}$	Maximální krouticí moment motoru při 4,8 [V]	[Nmm]
M_{kp}	Krouticí moment od odebraného vzorku půdy	[mm]
M_{kp}	Krouticí moment pružiny v dané poloze	[Nmm]
M_{oA}	Momentová rovnováha k podpoře A	[Nmm]
M_{oMAX}	Maximální ohybový moment v horním čepu	[Nmm ²]
M_{oMAX2}	Maximální ohybový moment prostředního čepu	[Nmm ²]
n	Otáčky	[min-1]
p	Dovolený tlak oceli	[Mpa]
$p_{hč}$	Tlak na horní čep	[Mpa]
$p_{pč}$	Tlak na prostřední čep	[MPa]
q	Váha významnosti	[-]
r_b	Poloměr navíjecího bubnu	[mm]
r_d	Vzdálenost mezi středem čepu a ukotvení lana na víku	[mm]
R_m	Mez pevnosti pro plast PLA	[MPa]
v	Počet voleb u kriteriální analýzy	[-]
x	Vzdálenost působící síly F_h od osy čepu	[mm]
x_1	Vzdálenost síly F_{lmax} od podpory A	[mm]
x_2	Vzdálenost síly F_{lmax} od podpory B	[mm]
π	Ludolfovo číslo	[-]
σ_{DO}	Dovolené napětí v ohybu pro míjivý cyklus	[Mpa]
σ_{dPLA}	Dovolené napětí pro plast PLA	[MPa]
σ_o	Napětí v ohybu	[Mpa]

1 Úvod

V této práci řeším problematiku uchovávání sypkých hmot (půdy) na robotizované vozidlo neboli rover. Zaměřím se na předělání stávajícího systému na roveru K3P4 pro ukládání sypkých vzorků půdy a navrhnutí lepšího řešení, které bude vyhovovat parametrům soutěže. Rover bude soutěžit na ERC (European Rover Challenge), kde musí plnit předem zadané úkoly.

Zkoumání odebraných vzorků je nedílnou součástí každé důležité kosmické mise. Dané vzorky se analyzují přímo na místě nebo jsou uloženy do nepropustných kontejnerů a dopraveny zpátky na zemi. Toto vozítko bude vykonávat nespočet úkonů a jednou z nich je i zmíněné analyzování vzorků.

Vzorky půd musí být uloženy do čtyř kontejnerů. Nádoby budou obsahovat senzory pro analyzování a vyhodnocení zadaných parametrů. Zásobník na nádoby bude umístěn na těle roveru. Z důvodů naplňování nádob efektozem musí být umístěné tak, aby bylo možné se k nim jednoduše dostat.

2 Rešerše stávajících možností ukládání vzorků půdy

Zkoumání odebraných vzorků je nedílnou součástí Agro průmyslu a každé důležité kosmické mise. Dané vzorky se analyzují přímo na místě nebo jsou uloženy do nepropustných kontejnerů a dopraveny zpátky na planetu Zemi. Doprava vzorků zpátky na planetu je mnohem nákladnější, ale za to přináší více informací o daném prostředí, kde byla půda odebrána. Jelikož by se lepší technika nedala dopravit na dané místo. Výhoda testování přímo na místě je možnost prozkoumat vícero vzorků z jiných míst. Agro průmysl používá odebrání vzorků k testování kvality půdy, která odráží pozdější kvalitu a množství vypěstovaných plodin.

2.1 Specifikace a rozdělení zásobníků

Jednotlivé specifikované zásobníky mohou být navrženy a provozovány v zásadě jako:

- Stacionární – trvale provozované na jednom místě.
- Přemístitelné – dočasně provozované na jednom místě.
- Mobilní – provozované i při pohybu – pojezdu příslušného technického prostředku obsahujícího zásobník.

Podle stavu materiálu, v jakém se nachází:

- Zásobníky na plyn
- Zásobníky (nádrže) na kapaliny
- Sklady pro kusový materiál
- Sklady (sklárky, zásobníky, sila) pro sypké materiály

Specifikace sypkého materiálu

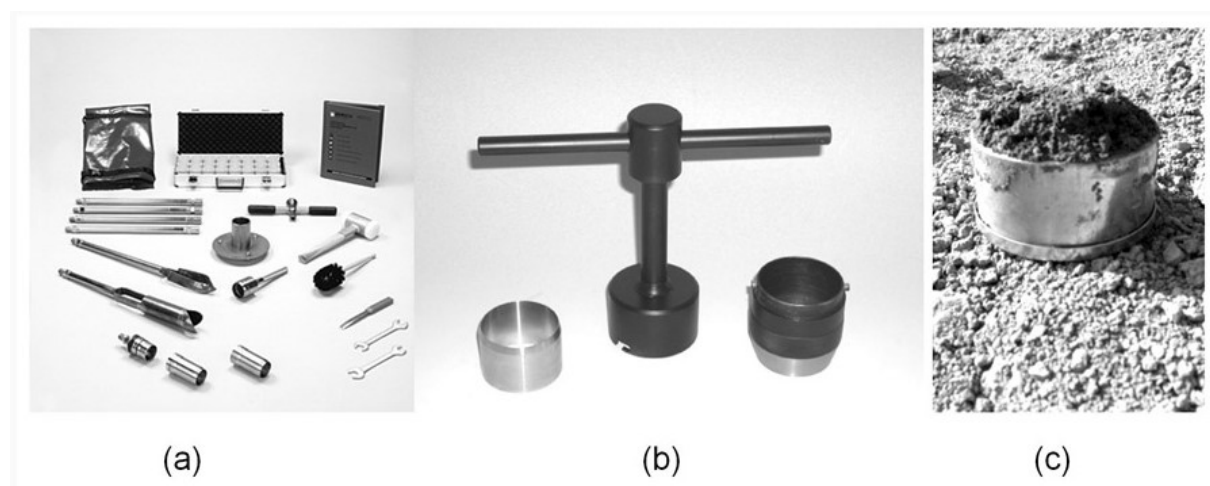
Sypké materiály jsou takové materiály, které se skládají z jednotlivých částic a nemají jinou soudržnost než soudržnost způsobenou třením. Jejich množství se udává objemem nebo hmotností. Řada konstruktérů se proto pro navrhování zásobníků na sypké hmoty musela zabírat problematikou jejich chováním za různých podmínek a museli brát zřetel na základní parametry materiálu: [1]

- Zrnitost, vlhkost, měrná a objemová hmotnost, sypný úhel, úhel vnitřního a vnějšího tření, soudržné napětí, napěťový stav.

Zásobníky mohou být zhotoveny z nejrůznějších materiálů. Zejména z betonu, oceli, hliníku, dřeva, plastů, textilu apod. Ale i volba vhodného materiálu, ze kterého je zásobník zhotoven, ovlivňuje jeho bezpečnost, resp. bezpečnost jeho provozu a obsluhy. [2]

2.2 Odebírání a skladování vzorků půdy

Účelem je jejich pozdější analýza, která slouží k přesnému posouzení složení půdy. Pro dopravu do laboratoří se musí vzorky skladovat. Skladují se v nádobách v případě sypké půdy, nebo ve válcích, které kopírují tvar odebraných vzorků Obr. 1. Na zemi je velmi jednoduché skladování například v igelitových sáčcích a plastových lahvích Obr. 2. [3]



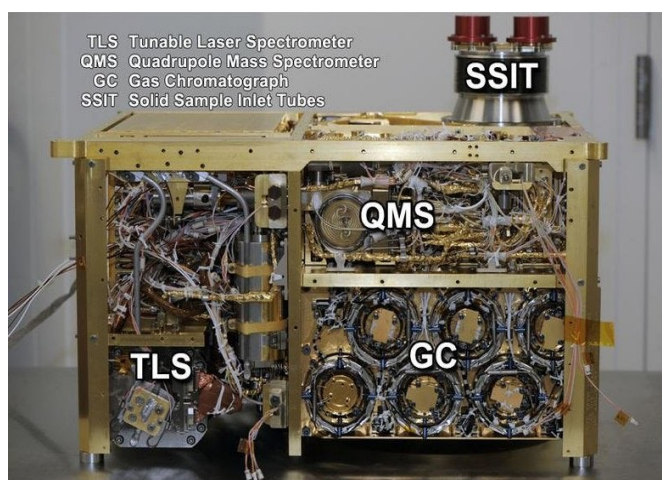
Obr. 1 Komerční souprava pro odběry vzorků půdy [3]



Obr. 2 Ukládání vzorků [4]

Standardní odebírání a ukládání vzorků NASA

Nedílnou součástí ukládání vzorků půdy je i jeho nabírání a způsobu dopravy do zásobníku. Jako nejčastější nástroje se používá vrtná souprava, která odebírá půdu i z větší hloubky, tvrdšího materiálu, po vyvrtání se vzorky rovnou testují a popřípadě ukládají. Nevýhoda je, že testování vzorku může být jen na místě s daným vybavením, které při dlouhých misích může být zastaralé. Odebírání vzorků pomocí lopaty (efektoru na odebírání vzorků). Tento způsob odběru je výrazně lepší pro povrchové vzorky. Vzorky jsou nasypány do zásobníků a hned podrobeny kompletní analýze. Na Obr. 3 můžeme vidět testovací modul SAM, jenž je vybaven k analýze plynů obsažených v odebraném vzorku půdy.

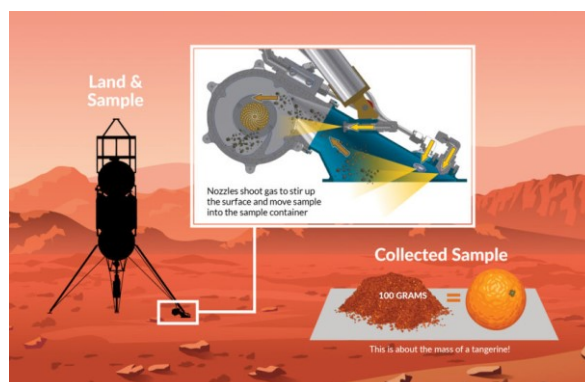
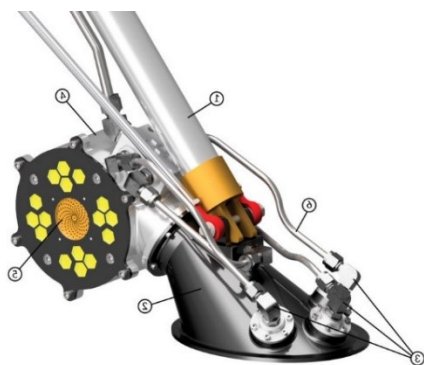


Obr. 3 Modul SAM pro testování vzorků [5]

Koncepty ukládání a vyzvedávání sypkých vzorků půdy pro vesmírné lety:

PlanetVac

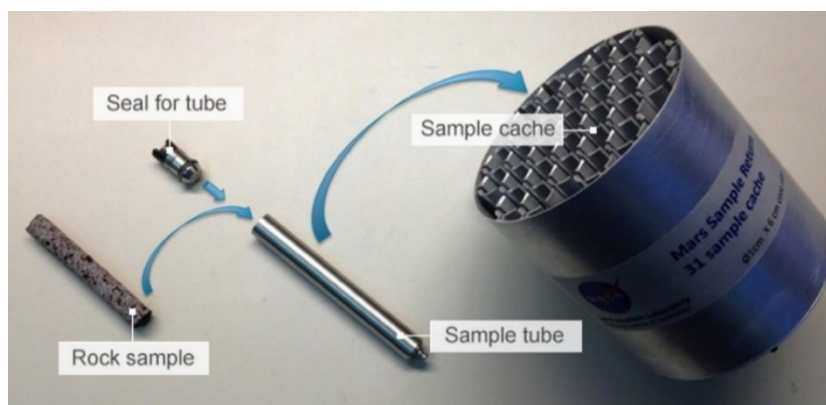
Jde o koncept nabírání sypkých vzorků půdy pomocí stlačeného vzduchu, který je dostupný v přistávacích modulech. Tento vzduch je primárně používán k tlakování palivových nádrží. Další výhodou tohoto zařízení je, že nepotřebuje žádné přídavné rameno a je jednoduše upevněné na přistávací noze. Celá sestava je velmi malá a obsahuje i zásobník na jeden druh odebíraných vzorků.



Obr. 4 Sbíráni planetárních vzorků pomocí PlanetVac [6]

Nádoba na vzorky pro misi v roce 2020

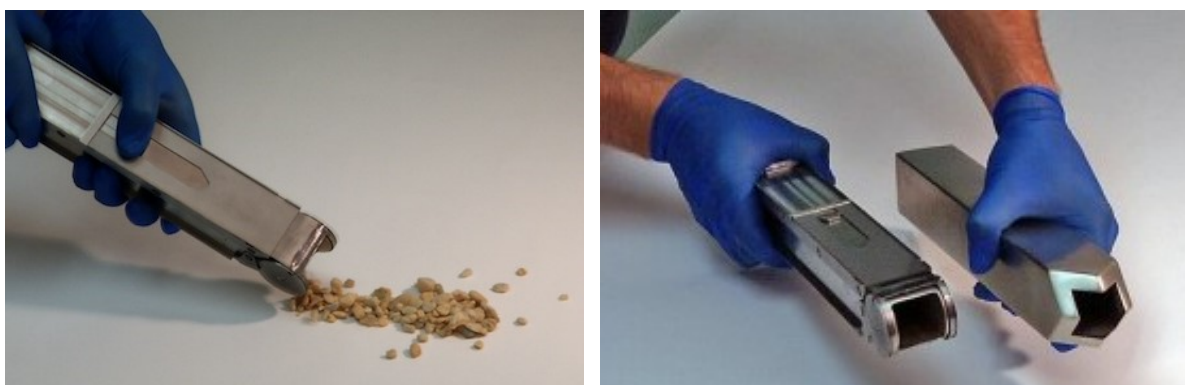
Další možnost pro uchovávání vzorků půdy bude poskytovat nádoba, která by měla být součástí mise v roce 2020. Bude shromažďovat mart'anskou půdu o velikosti tužky, rover bude skladovat až 31 těchto malých kanystrů uvnitř větší nádoby. Tato nádoba bude vyzvednuta až v další misi. [7]



Obr. 5 Nádoba pro uchovávání vzorků [7]

Odebírání a uchovávání vzorků pomocí harpuny

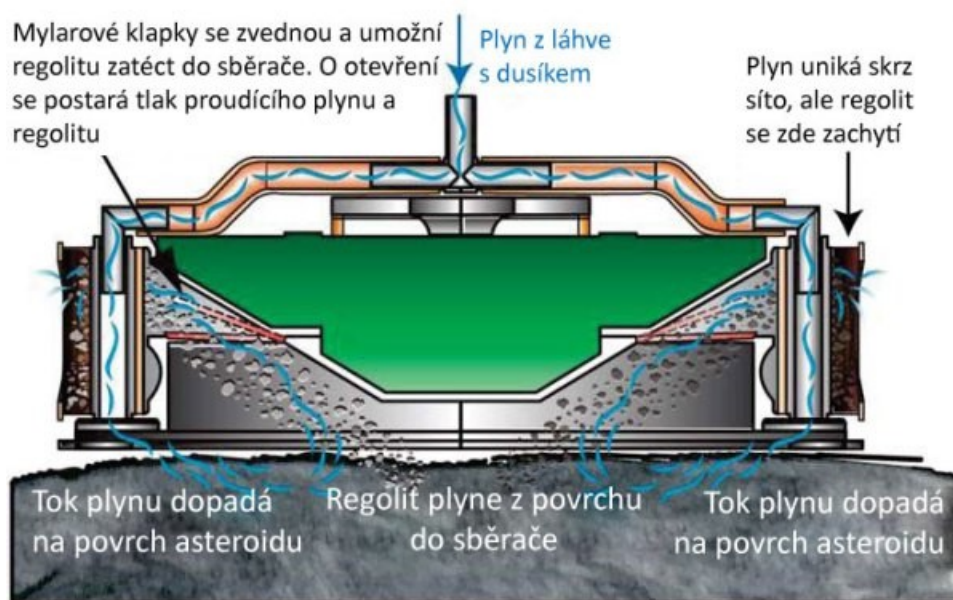
Tento způsob je velice zajímavý z pohledu jednoduchosti, protože se nemusí přistávat na planetce nebo na kometě pro odebrání vzorků, které jsou tak důležité pro výzkum. Nesporná výhoda je v tom, že nábojnice bude sloužit i jako zásobník na půdu, jež bude poté vytažena pomocí lana zpět na sondu. Otevírání a zavírání kapsle je řešeno pomocí rolety. Nevýhodou je samotná harpuna, která může selhat.



Obr. 6 Prototyp hrotu harpuny [8]

TAGSAM (Touch-And-Go-Sample Acquisition Mechanism)

Jde o přístroj, který odebírá a skladuje vzorky půdy pomocí stlačeného dusíku. Proud stlačeného dusíku bude mířit do oblasti vnějšího průměru odběrové hlavy a odtud poteče směrem do středu. Při této cestě bude proud dusíku z povrchu strhávat částice regolitu až o velikosti 20 mm. Proudící dusík otevře klapky z mylaru a odnese vzorky až k sítu, které umožní plynu uniknout, ale zadrží všechny částice kromě těch nejjemnějších. Jakmile proud ustane, mylarové klapky se automaticky uzavřou a materiál tak bude uzavřen. [9]



Obr. 7 Princip fungování odběrné hlavy [9]

3 Analýza současného stavu

Stávající řešení ukládání vzorků půdy bylo na Roveru K3P4 nevyhovující. Toto řešení bylo použito, jako nejlepší možné řešení z časového hlediska, které hrálo velmi důležitou roli. Princip tohoto řešení spočíval v rotaci zásobníku pomocí servomotoru. Pro naplnění jednotlivých nádob se musí zásobník otočit o 90°.

Hmotnost jednoho vzorku se měří pomocí jednoho váhového senzoru, který musí být velmi dobře zkalibrován. Vlivem otáčení zásobníku se mění poloha nádob vůči senzoru, a tím i naměřené hodnoty.

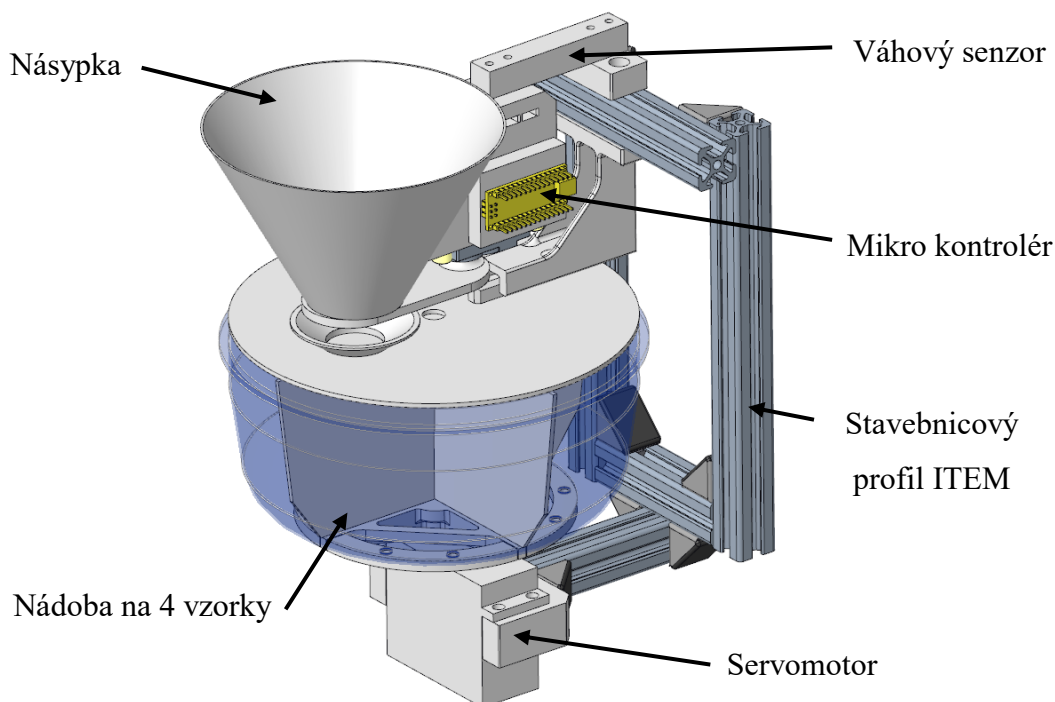
Testování proběhlo v pořádku. Na soutěži vlivem technických problémů na efektoru pro odebírání vzorků nemohlo být odzkoušené při provozních podmínkách.

Výhody:

- Jednoduchost konstrukce.
- Poměrně nízké náklady na výrobu.

Nevýhody:

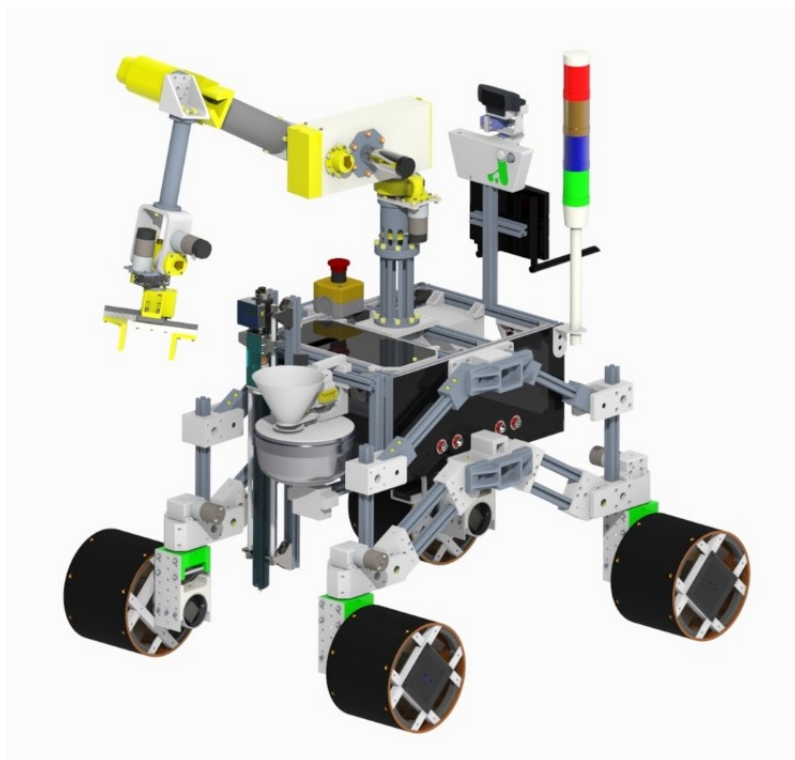
- Při vytáhnutí vzorků nesplňuje jeden z požadavků soutěže, a to uchování vzorků v jakékoliv pozici.
- Kontaminace vzorků vlivem stejné násypky.
- Měření pouze hmotnosti vzorku.



Obr. 8 Původní modul na skladování a vyhodnocování vzorků

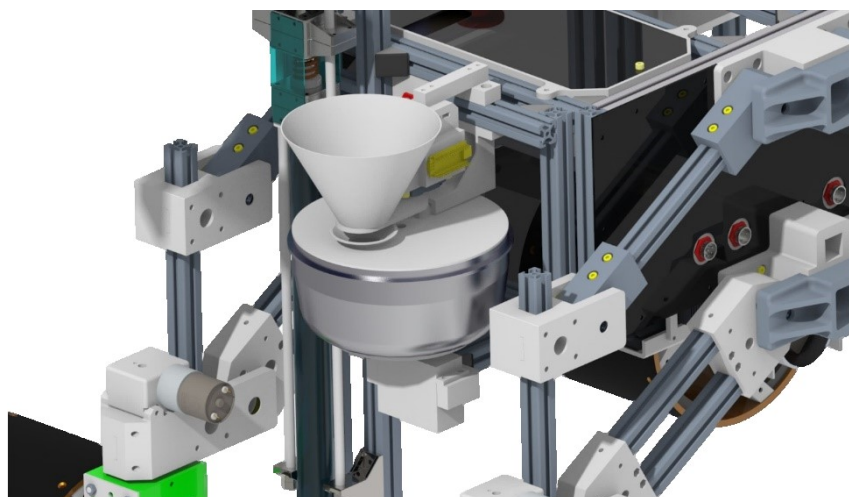
3.1 Popis a umístění stávajícího modulu v roveru

Stávající model roveru použitý na soutěži ERC 2018 Obr. 9. Přesné umístění modulu na roveru je z přední části na vnější straně konstrukce.



Obr. 9 Model roveru na soutěži 2018

V detailním pohledu je vidět že modul je připevněn pomocí stavebnicových profilů ITEM, které jsou k sobě připevněny šrouby s T-maticí.



Obr. 10 Detail umístění modulu

4 Požadavkový list

Na základě požadavků soutěže a mým vedoucím práce byly specifikovány tyto podmínky a omezení:

- Zařízení pro uchování čtyř vzorků půdy
- Zamezit vzájemnému promíchání a kontaminaci vzorků
- Nádoby na vzorky musí být odnímatelné
- Nádoby musí být uzavíratelné a schopny udržet vzorek půdy v jakékoliv orientaci
- Měření hmotnosti vzorku.
- Měření alespoň tří fyzikálních nebo chemických vlastností vzorku.

Technické detaily:

- Hmotnost jednoho vzorku až 100g
- Maximální hmotnost zařízení 2kg
- Napájecí napětí 5/12/24V

Zvolené fyzikální nebo chemické zkoumané parametry:

- Měření vlhkosti
- Měření teploty
- Zjištění barvy vzorku
- Měření koncentrace plynu

5 Varianty řešení nádoby

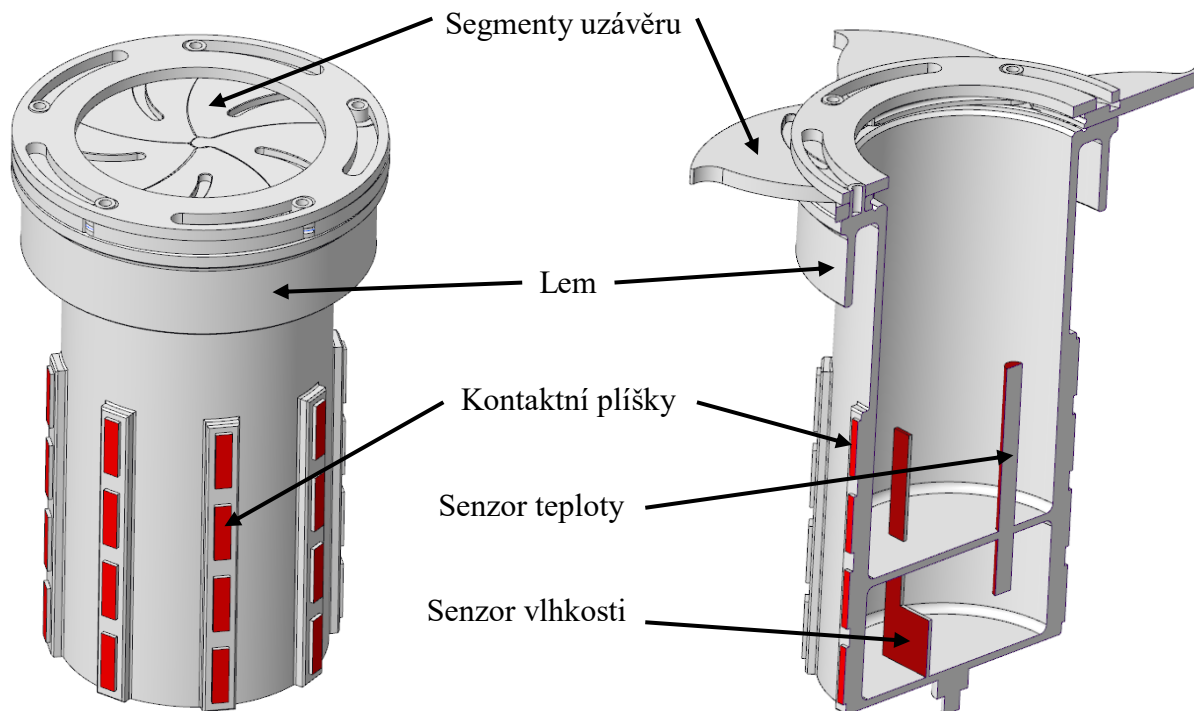
Na základě pravidel soutěže, rozměrů roveru a požadavkového listu jsou vypracovány následující varianty. Každá varianta obsahuje nádobu i zásobník, který tvoří jeden celek.

5.1 Varianta 1

Nádoba

Nádoby se zavírají pomocí iris mechanismu. Tento uzávěr funguje na principu uzavírání jednotlivých segmentů pomocí otáčení horního dílu nádoby. Mechanismus bude ovládán přes motor, který je ve spodní části nádoby anebo pomocí pružiny. Než se vloží do zásobníku nádob, tak se ručně otevře a mechanicky zajistí vložení do zásobníku.

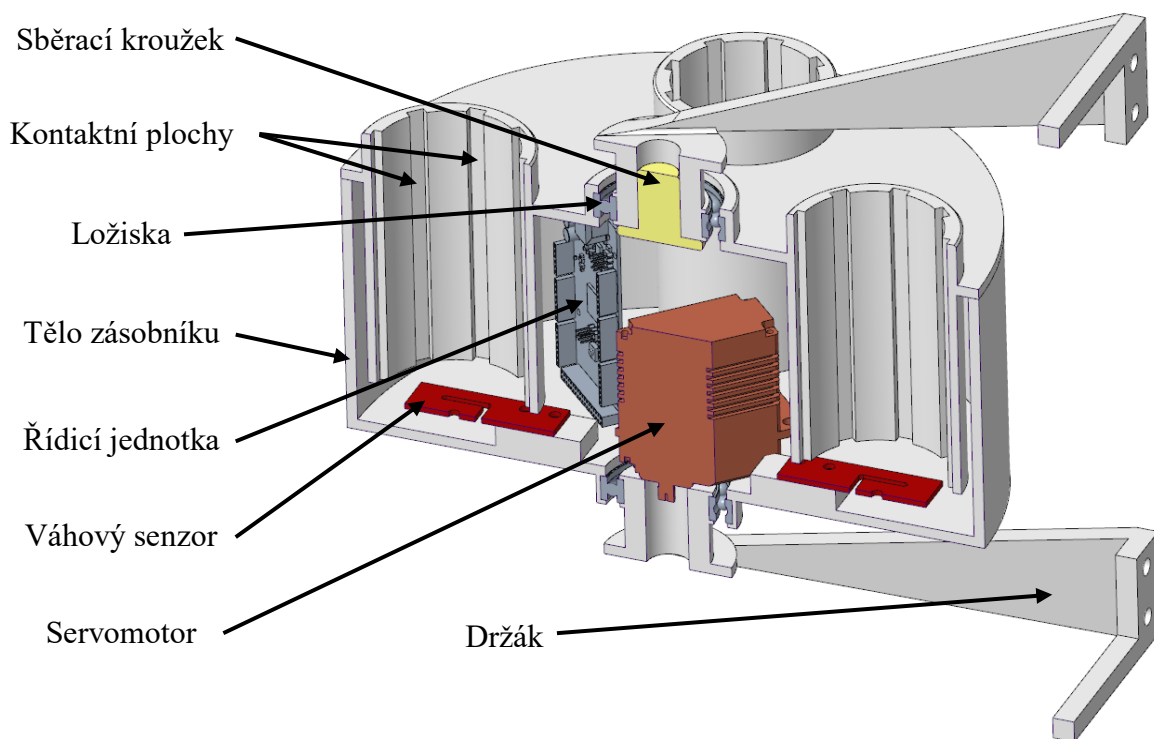
Ve spodní části budou umístěny senzory pro měření teploty a vlhkosti. Všechny signály a kabeláž bude přivedena potažmo spojena až při zasunutí nádoby do zásobníku, pomocí kontaktních plíšků.



Obr. 11 Nádoba varianta 1

Zásobník

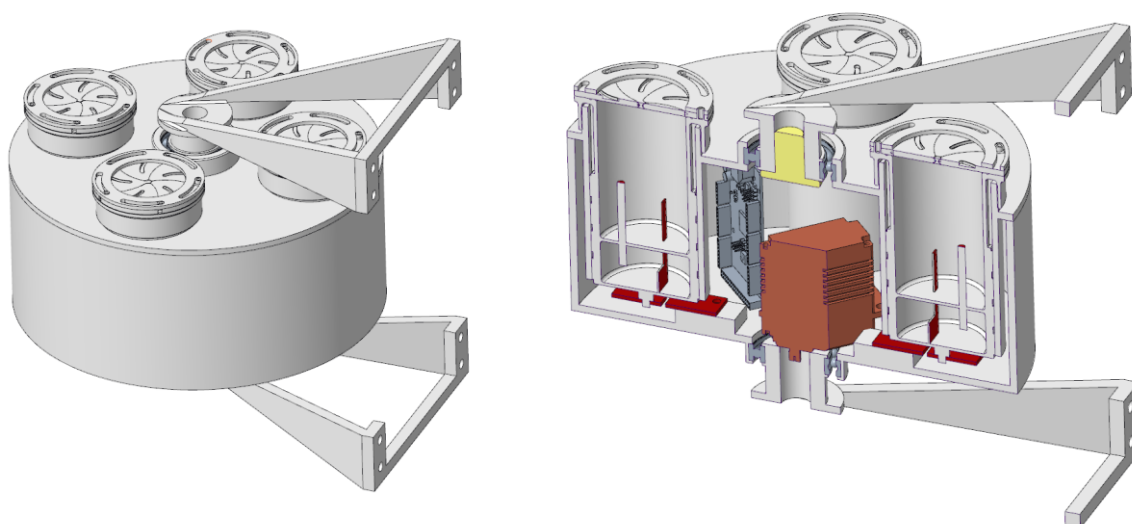
Zásobník má čtyři boxy pro nádoby, které se otáčí kolem své osy, pomocí servomotoru. Vše se řídí a zpracovává uvnitř zásobníku. Je zde i tlakový senzor pro přesné vážení každé nádoby zvlášť. Celá konstrukce je upevněna pomocí dvou nosníků pevně spojeny šrouby. Přívod energie a signálů ze zásobníku do roveru byl řešen kvůli otáčení speciálním sběracím kroužkem ten je umístěn přímo v ložisku.



Obr. 12 Zásobník pro variantu 1

Celkový modul varianty 1

Modul je umístěn na vnější straně roveru.



Obr. 13 Celkový modul varianty 1

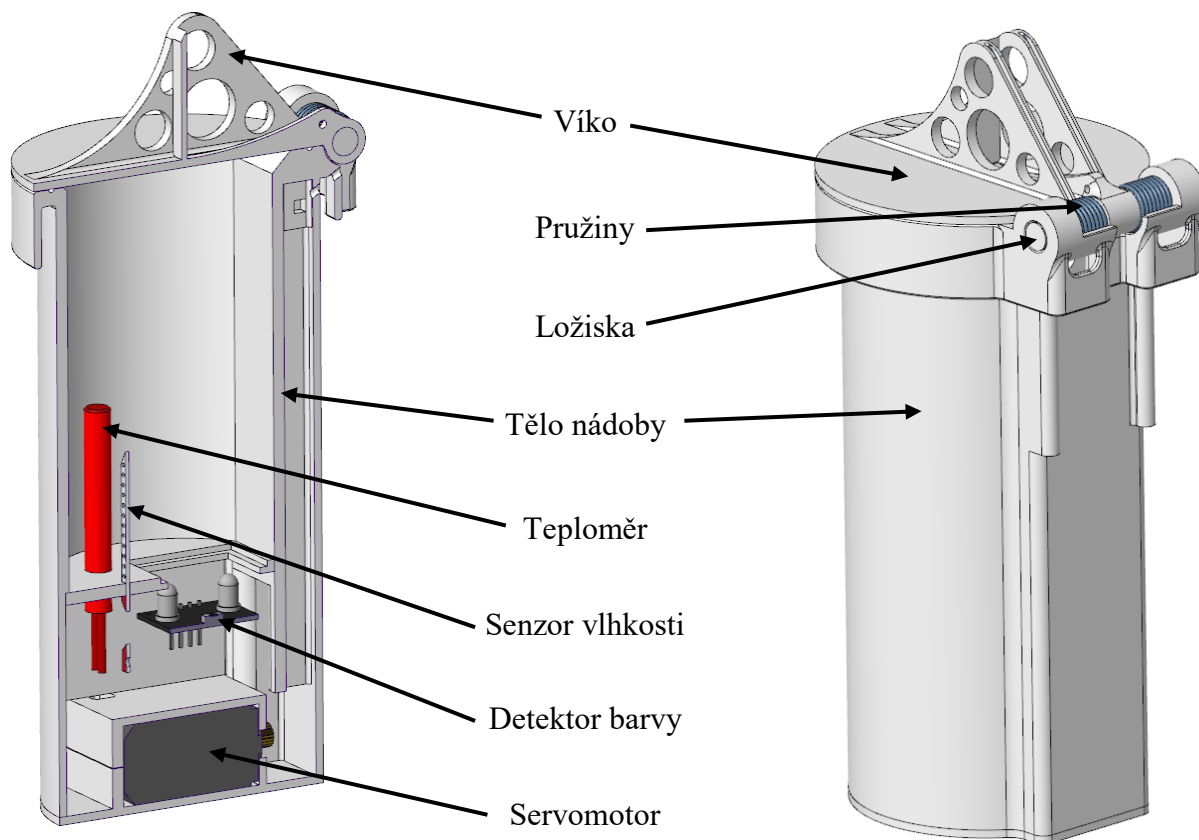
5.2 Varianta 2

Tato varianta spočívá ve změně víka nádoby, u kterého jsem zvolil vyklápění do horní polohy, a ve změně zásobníku kvůli umístění modulu přímo v roveru.

Nádoba

Nádoba je opět s dutým dnem jako v první variantě, a i se stejným rozmístěním senzorů. Přenos signálu ze senzorů do zásobníku probíhá přes dráty ukončené konektorem, vedené dutinou na jedné straně nádoby. Ve vrchní části jsou pro dráty vytvořeny otvory. Operátor při vkládání nádoby do zásobníku musí připojit konektor do předem připravené zdířky na horní části Roveru.

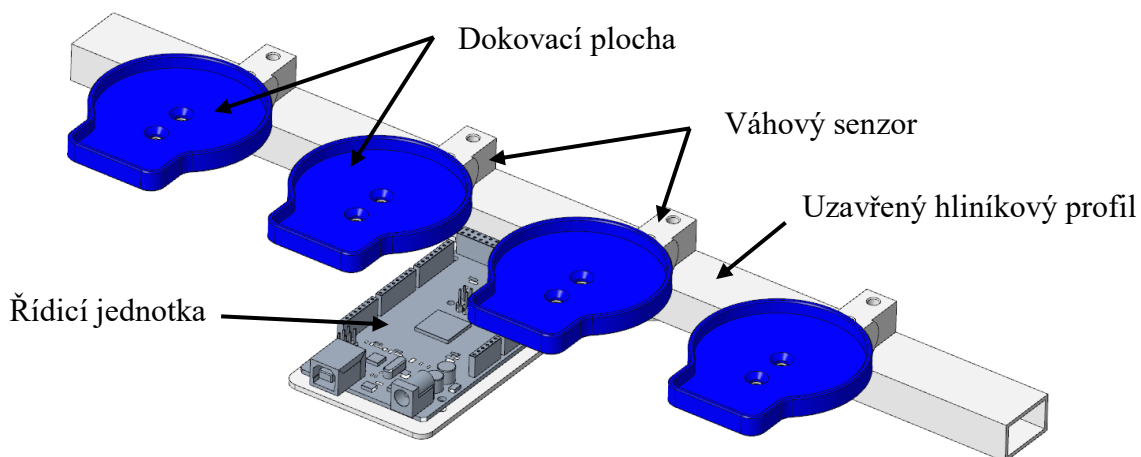
Vzorky se uchovávají ve vrchní části nádoby, zde jsou i analyzovány. Víko bude zajištěno dvěma pružinami o dostatečné síle k udržení víka i v kritické poloze (dnem vzhůru). Otevírání nádoby je zajištěno pomocí servomotoru. Servomotor je umístěn ve dně nádoby. Na něj je přidělán naviják, ten přes lano ovládá otevírání a zavírání nádoby.



Obr. 14 Nádoba varianta 2

Zásobník

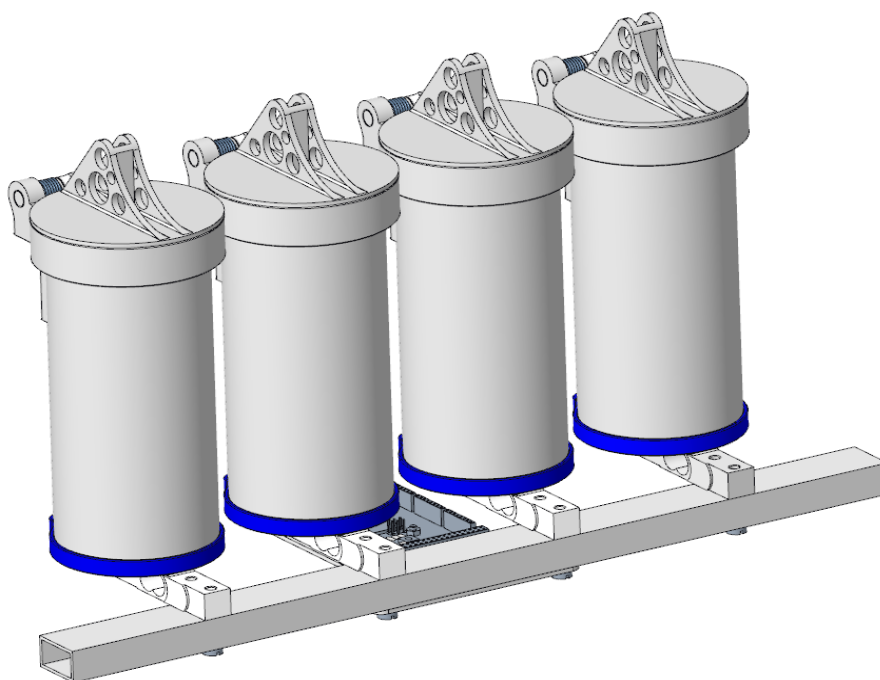
Zásobník pro tuto nádobu byl vytvořen jiný než v předchozí variantě, a to kvůli umístění uvnitř roveru. Pod každou dokovací plochou je umístěn tenzometr ke změření hmotnosti vzorku. Řešený zásobník je statický a pevně přidělaný ke konstrukci, proto efektor musí jezdit nad každou jednotlivou nádobu zvlášť.



Obr. 15 Zásobník pro variantu 2

Celkový modul varianty 2

Tento modul je umístěn přímo v těle roveru. Hliníkový profil je spojen s tělem pomocí šroubů.



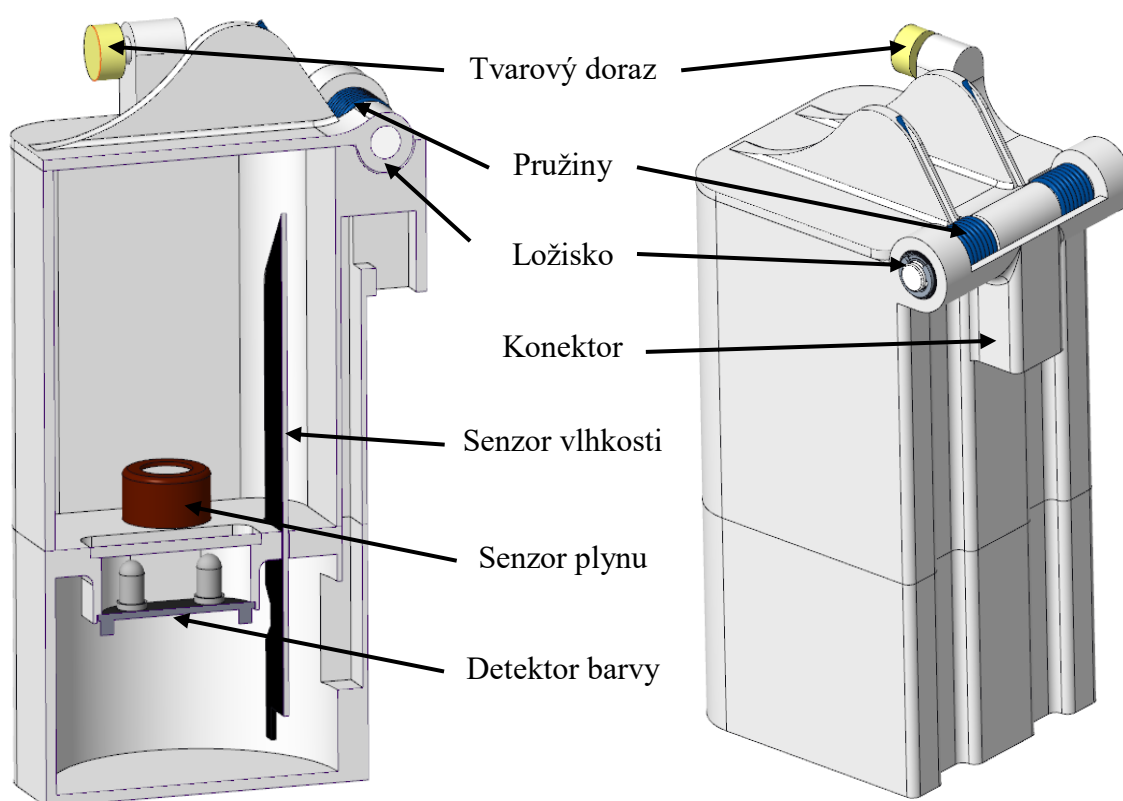
Obr. 16 Celkový modul varianty 2

5.3 Varianta 3

V této variantě byla největší změna v zásobníku, který má velmi malé zástavbové rozměry. Další podstatná změna je v mechanismu otevírání víka a v samotném tvaru nádoby.

Nádoba

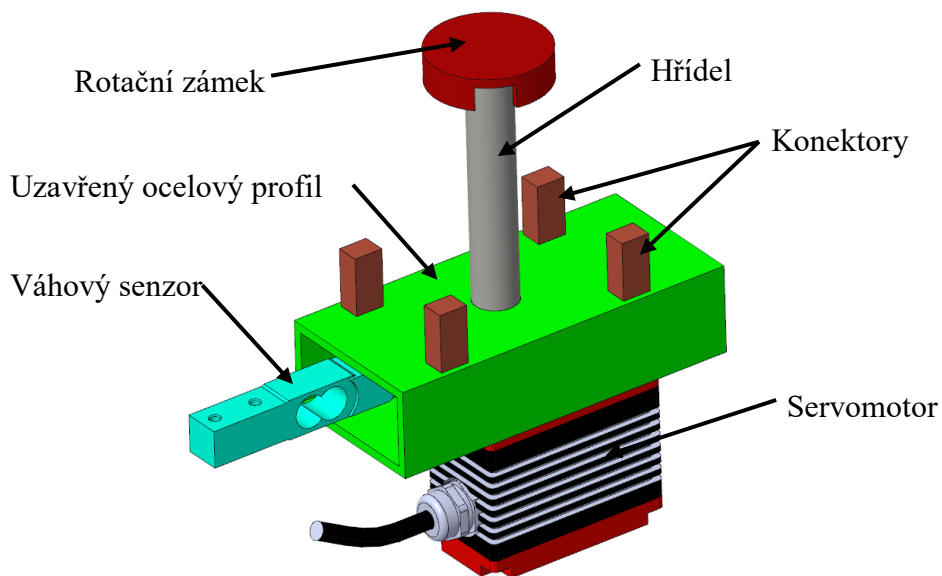
Tato nádoba je čtvercového průřezu kvůli tvaru zásobníku. Díky tomu mohou být zástavbové rozměry menší a samotný prostor mezi nádobami je zmenšen na minimum. Senzory jsou umístěné opět ve falešném dně nádoby. Přenos dat probíhá přes kabely, které jsou ukončené konektorem. Tento konektor je součástí nádoby a slouží i jako nosný prvek. Uzavírání nádoby je řešené pomocí pružin, které slouží i k zajištění vzorku v nádobě. Pro otevření nádoby je nezbytné použít operátora. Operátor při připojení nádoby do zásobníku, ručně zvedne víko a zajistí ho pomocí rotačního zámku, který je umístěn v zásobníku. K zajištění slouží tvarový doraz, jenž přesně zapadá do rotační drážky. Nevýhoda tohoto zavírání kromě potřeby operátora je, že je předem určené pořadí zavírání.



Obr. 17 Nádoba varianta 3

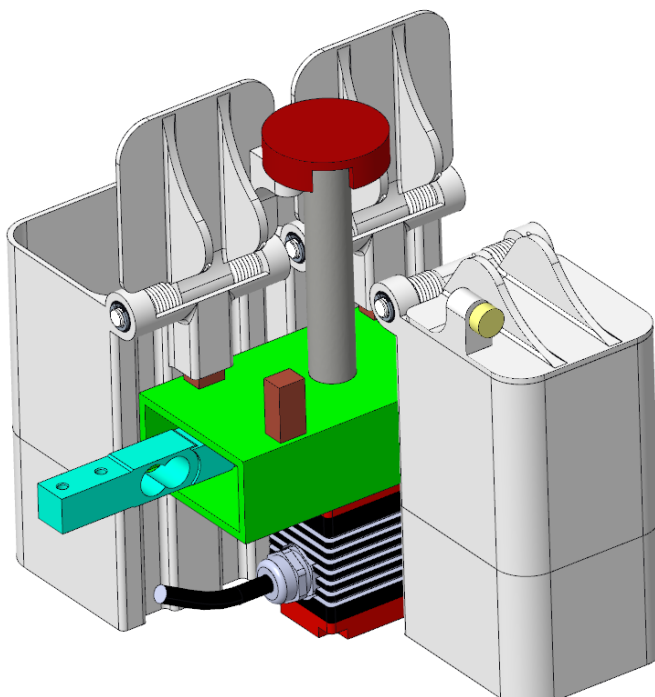
Zásobník

Zásobník je tvořen základním nosným ocelovým profilem. Na něj jsou přidělané konektory, které slouží k přenosu dat a zároveň k držení samotných nádob. Jak už bylo zmíněno, pro otevírání víka je použitý tvarový zámek. Ten díky drážce pevně zajistí víko. Je poháněn jedním servomotorem umístěným ve spodní části profilu. Přenos ze servomotoru je zajištěn hřídelí. Celý zásobník je držen váhovým senzorem, jenž je připevněn na Rover. Tento váhový senzor měří hmotnost celého modulu, musí být dobře zkalibrován.



Obr. 18 Zásobník pro variantu 3

Celkový modul varianty 3



Obr. 19 Celkový modul varianty 3

6 Výběr optimální varianty

Pro výběr variant byla použita kritériální analýza. Tato analýza slouží k rozhodnutí o vybrání optimální varianty v závislosti na použitých kritérii a jejich významnosti.

6.1 Hodnoty kritérii

Pro hodnoty kritérii jsem použil šestibodovou stupnici hodnocení Tabulka 1.

Tabulka 1 Hodnoty kritérii

Význam hodnocení	Hodnota
Vysoká úroveň	6
Dobrá úroveň	5
Průměrná úroveň	4
Nízká úroveň	3
Nevyhovující úroveň	2
Nepříznivý stav	1

6.2 Hodnotící kritéria

Těchto šest kritérii má největší vliv na výběr optimální varianty Tabulka 2.

Tabulka 2 Hodnocená kritéria

Kritérium		Charakteristika kritéria
K1	Cena	Cena všech komponentů
K2	Složitost konstrukce	Počet komponentů a jejich výrobní složitost
K3	Hmotnost	Maximální hmotnost celého modulu
K4	Umístění nádob	Poloha nádob relativně vůči Roveru
K5	Automaticnost	Možnost ovládání nádob na dálku bez zásahu obsluhy
K6	Zástavbové rozměry	Maximální rozměry celého modulu

6.3 Určení významnosti

Určení významnosti jsem provedl pomocí porovnávání jednotlivých kritérií. Po porovnání se sečte počet voleb každé varianty, jenž určí její významnost od 1 do 2.

Tabulka 3 Určení významnosti

Porovnávání kritérií					Počet voleb v	Váha významnosti q	Kritérium
K1	K1	K1	K1	K1	2	1,4	K1
K2	K3	K4	K5	K6			
	K2	K2	K2	K2	3	1,6	K2
	K3	K4	K5	K6			
		K3	K3	K3	2	1,4	K3
		K4	K5	K6			
			K4	K4	3	1,6	K4
			K5	K6			
				K5	4	1,8	K5
				K6			
					1	1,2	K6

Na Graf 1 je vidět lineární závislost jednotlivých významností na počtu voleb. Rozsah významnosti je od 1 do 2 a rozsah volby je od 0 do 5. Díky těmto omezujícím hodnotám lze sestavit lineární rovnici

$$q = k \cdot v + b \quad (1)$$

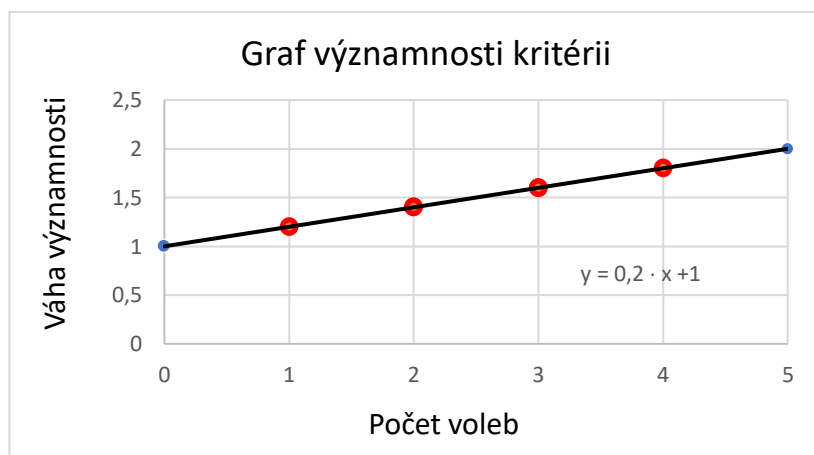
$$q = 0,2 \cdot v + 1$$

v – počet voleb [-]

q – váha významnosti [-]

k – směrnice přímky [-]

b – posunutí přímky [-]



Graf 1 Významnost kritérií

6.4 Hodnocení variant

Hodnocení variant probíhá na základě subjektivního pocitu jednotlivých hodnotitelů. Počet hodnotitelů je v mém případě čtyři, díky tomu je kritériální analýza přesnější. Každému z šesti kritérií přiřadí hodnotitel hodnotu, jenž odpovídá vlastnímu pocitu. Pro každou variantu byla sestavena samostatná Tabulka 4 až Tabulka 6.

Tabulka 4 Celkový vážený index varianty 1

Varianta 1.	1. Hodnotící	2. Hodnotící	3. Hodnotící	4. Hodnotící	Součet hodnot	Váha významnosti	Vážený index
K1	4	5	5	4	18	1,4	25,2
K2	5	4	4	4	17	1,6	27,2
K3	4	5	4	5	18	1,4	25,2
K4	5	4	4	4	17	1,4	27,2
K5	6	5	6	5	22	1,8	39,6
K6	4	5	4	4	17	1,2	20,4
Suma vážených indexů							164,8

Tabulka 5 Celkový vážený index varianty 2

Varianta 2.	1. Hodnotící	2. Hodnotící	3. Hodnotící	4. Hodnotící	Součet hodnot	Váha významnosti	Vážený index
K1	5	4	4	5	18	1,4	25,2
K2	5	4	5	4	18	1,6	28,8
K3	6	5	6	5	22	1,4	30,8
K4	6	5	6	5	22	1,4	35,2
K5	5	6	5	6	22	1,8	39,6
K6	4	5	5	4	18	1,2	21,6
Suma vážených indexů							181,2

Tabulka 6 Celkový vážený index varianty 3

Varianta 3.	1. Hodnotící	2. Hodnotící	3. Hodnotící	4. Hodnotící	Součet hodnot	Váha významnosti	Vážený index
K1	5	6	5	4	20	1,4	28
K2	5	4	6	4	19	1,6	30,4
K3	4	5	4	5	18	1,4	25,2
K4	4	4	5	4	17	1,4	27,2
K5	5	4	4	5	18	1,8	32,4
K6	5	6	5	5	21	1,2	25,2
Suma vážených indexů							168,4

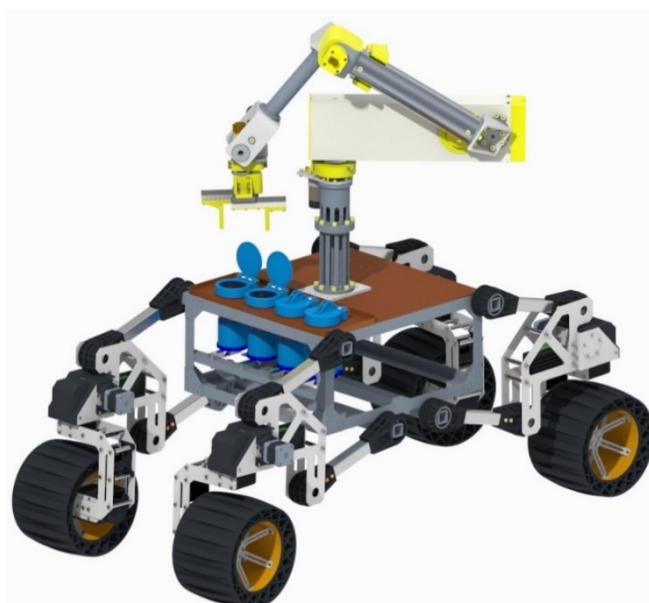
Optimální varianta je ta s nejvyšším celkovým váženým indexem tudíž varianta 2.

7 Konstrukční návrh

V této kapitole je popsáno umístění nádob v Roveru a podrobně rozpracována optimální varianta 2.

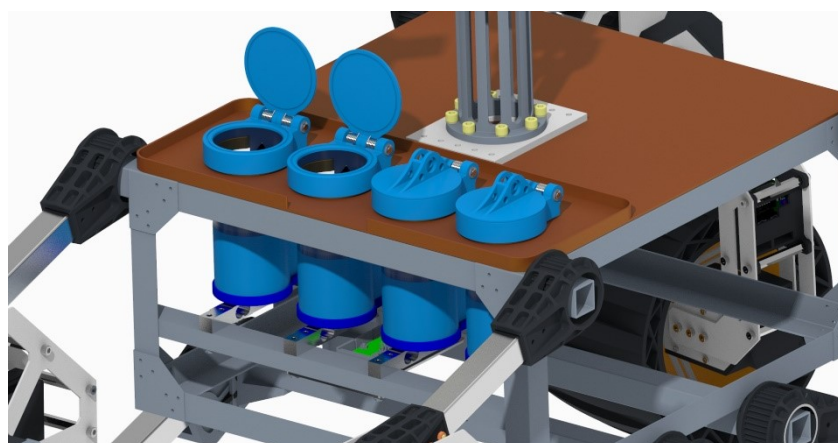
7.1 Popis a umístění modulu v aktuálním Roveru

Stávající rozpracovaný model Roveru pro soutěž na ERC v roce 2019. Z obrázku je patrné umístění nádob, jenž bylo předem zvolené uvnitř těla, toto umístění eliminuje několik nežádoucích problémů, jako jsou dodatečné vibrace a hmotnost. Jak je z Obr. 20 vidět je v horní části deska, která má vytvořený lem. Tento lem slouží k eliminaci rozsypávání přebytečné půdy, která neskončí v nádobě.



Obr. 20 Model Roveru na soutěž 2019

Detailní pohled na přesné umístění nádob Obr. 21



Obr. 21 Detailní umístění modulu

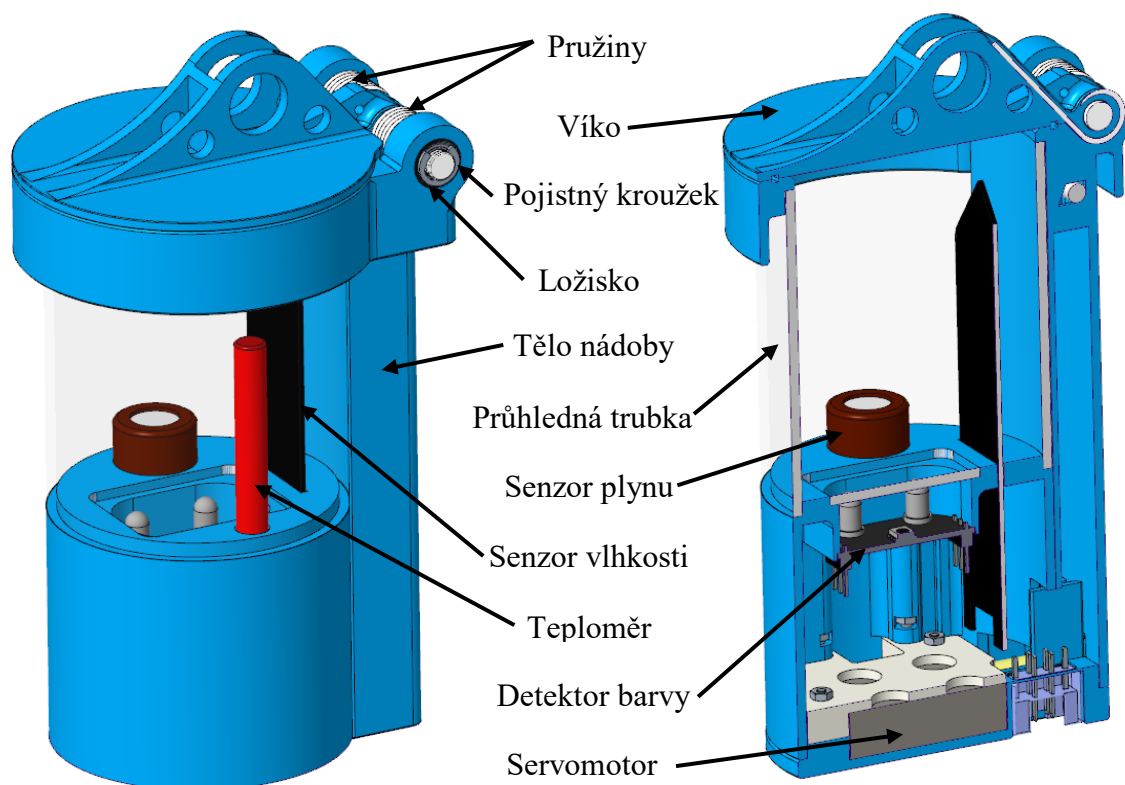
7.2 Nádoba

Než byl vypracován finální stav, nádobu jsem podrobil několika změnám. Tyto změny mají výrazný vliv na jednoduchost a celkovou velikost konstrukce.

Hlavní změna je v přenosu signálu ze senzorů do zásobníku. Přenos probíhá přes konektory umístěné ve spodní části nádoby. Toto řešení ulehčí konstrukci a samotnou složitost konstrukce, zároveň stačí, aby operátor správně vložil nádobu do zásobníku potažmo Roveru a už nemusí zasahovat.

Další změnu jsem provedl u těla nádoby, jenž je částečně nahrazena průhlednou trubicou. Toto řešení bylo zvoleno z důvodů větší pevnosti samotné extrudované průhledné trubky, než použití 3D tisku. Trubka se pevně spojí s tělem pomocí lepidla. Tato úprava má i další výhody jako je těsnost proti průsaku vody a v neposlední řadě, že při vyjmutí nádoby může operátor přesně zjistit objem odebraného vzorku pomocí předem vytvořených značek na vnějším povrchu trubky.

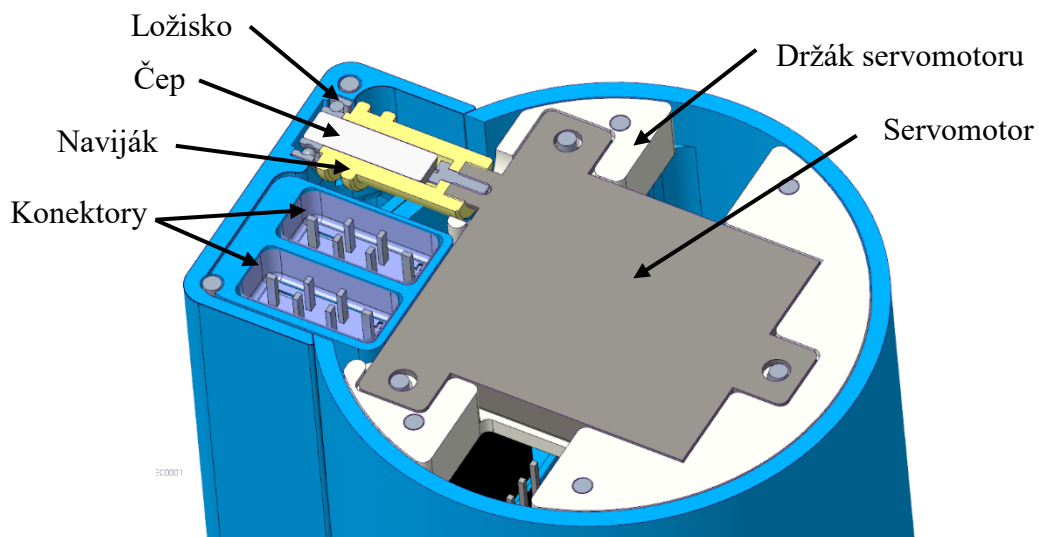
Poslední dvě změny jsou menšího charakteru. Víko prošlo redukcí výšky, opěrné konstrukce pro pružinu. Tato změna zmenšila zástavbové rozměry a neměla vliv na funkci zařízení. Je zvolen jiný detektor vlhkosti, který má lepší parametry na úkor své velikosti.



Obr. 22 Nádoba

7.2.1 Detailní řez spodní části nádoby

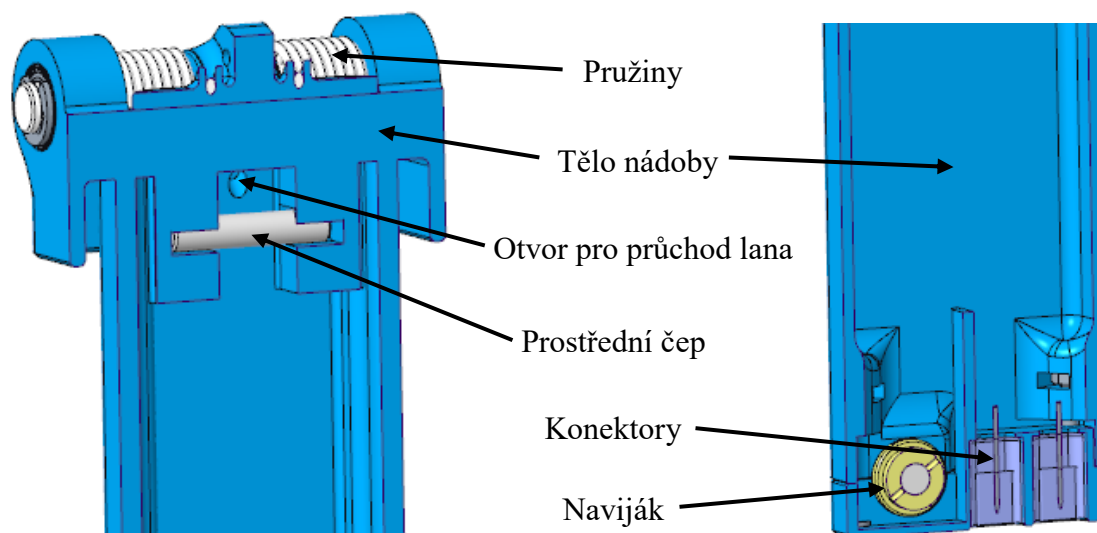
Ve spodní části jsem umístil servomotor, který je zajištěn šrouby. Pohání naviják, jenž je upevněn k servomotoru pomocí dvacetipěti hranu a pojištěn šroubem. V navijáku je nalisován čep pro zvýšení pevnosti, který drží v ložisku na druhé straně. V řezu vidíme i konektory, které slouží k přenosu informací i k přenosu energie pro všechny senzory a pro servomotor.



Obr. 23 Řez spodní části nádoby

7.2.2 Detailní řez zadní strany nádoby

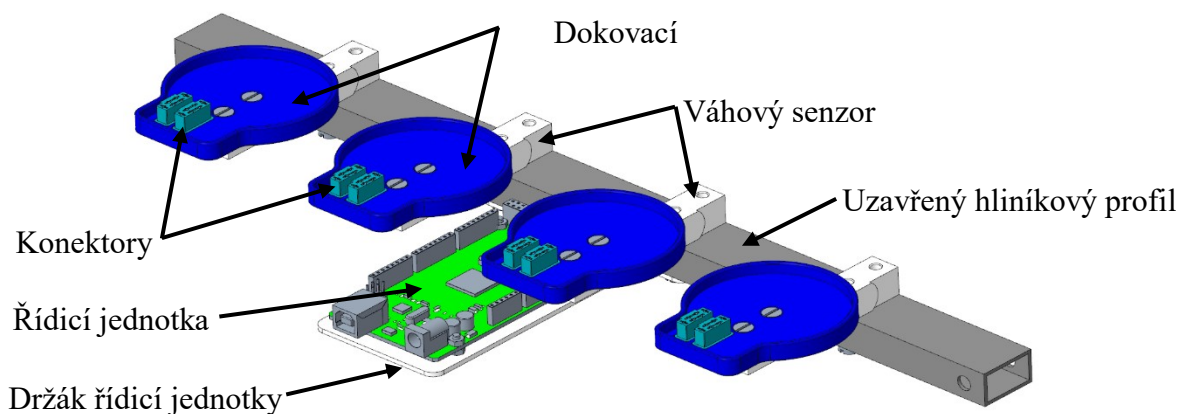
Samotný řez jsem rozdělil na dva detaily, ty ukazují detailní rozmístění. Z víka povede lano, to se bude opírat o prostřední čep, na konec povede až k navijáku. Toto řešení bylo použito jako nejjednodušší k přenosu síly od servomotoru až k hornímu víku.



Obr. 24 Řez zadní strany nádoby

7.3 Zásobník

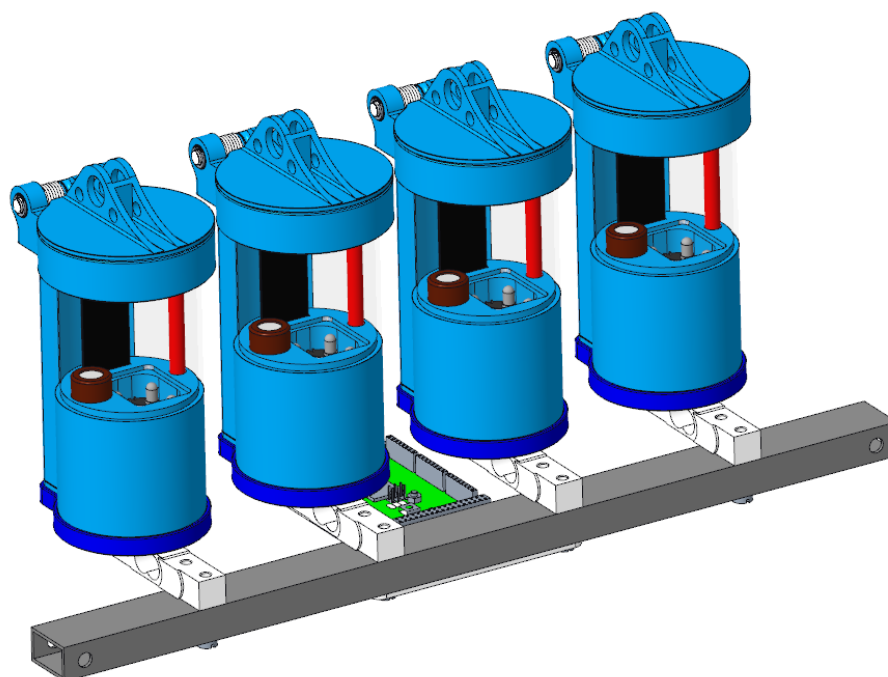
Zásobník se od návrhu liší jen velmi málo. Hlavní změnou je, že v dokovací ploše jsou umístěné konektory k zapojení nádoby. Veškerá kabeláž z konektorů bude upevněna pomocí stahovacích pásek přímo na konstrukci. Vše je zapojeno do řídicí jednotky, ze které povede I2C sběrnice do hlavní řídicí jednotky. Přes něj na dálku bude operátor ovládat celý Rover. Pro připevnění na Rover budou použity dva šrouby.



Obr. 25 Zásobník

Celkový modul

Detailní pohled na celkový modul, který se bude umisťovat do vnitřku Roveru. Jak lze vidět na Obr. 26 je možno nádoby ještě zvětšit, kdyby došlo ke změně pravidel.



Obr. 26 Celkový modul

8 Popis vybraných komponentů

V této kapitole se věnuji vybraným komponentům. Sloužící k měření veličin, ovládání nádoby a přenosu signálu.

Servomotor

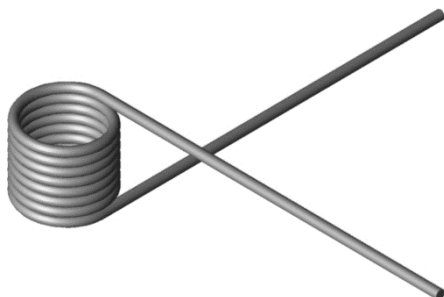
Slouží k otevírání nádoby. Jeho síla je převedena přes naviják do lana. Tento druh motoru jsem vybral díky nejlepšímu poměru hmotnosti ku krouticímu momentu. Splňoval i další požadavky, jako je velikost a přípustné napětí.



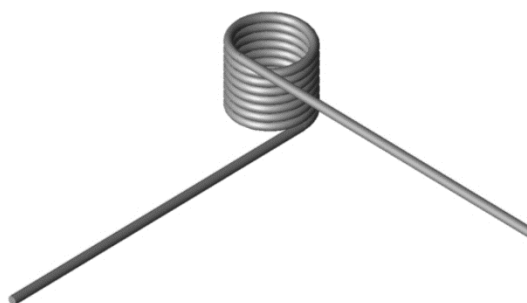
Obr. 27 JX servo PDI-2105 MG Slim (Digital) [10]

Pružiny

Pružiny jsem vybral od firmy Gutekunst Federn. Tato firma má na webových stránkách přímo kalkulačtor pro vlastní pružiny. Vybraná zkrutná pružina se vyznačuje vysokým kroutícím momentem na velkém rozsahu pohybu 145°. Díky tomu můžou pružinu předeprnout o 50° a zároveň ještě vyvozovat samotný otevírací pohyb 90°. Pro zavírání jsou použity dvě pružiny, jedna levá a jedna pravá.



Obr. 28 Pružina T-18686L [11]



Obr. 29 Pružina T-18686R [12]

Teploměr

Miniaturní vodotěsný digitální teploměr od firmy ESES s teplotním čidlem DS18B20. Měření teploty v rozsahu od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností $\pm 0,5\text{ }^{\circ}$



Obr. 30 Vodotěsný teploměr [13]

Půdní vlhkoměr

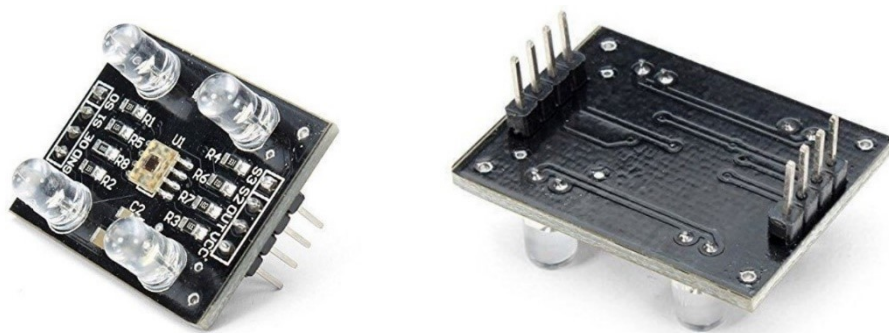
Analogový snímač vlhkosti půdy, odolný proti korozi, používaný pro zahradní rostliny a inteligentní zemědělství.



Obr. 31 Půdní vlhkoměr [14]

Detektor barvy

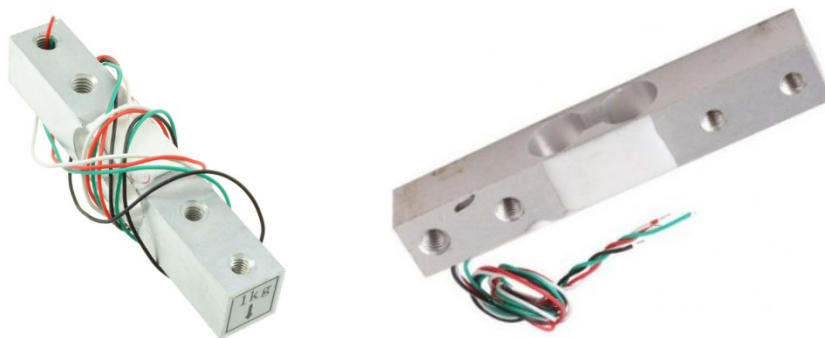
Vyznačuje se vysokým rozlišením přeměny světla na frekvenci. Používá senzor TCS3200.



Obr. 32 Detektor barvy [15]

Váhový senzor

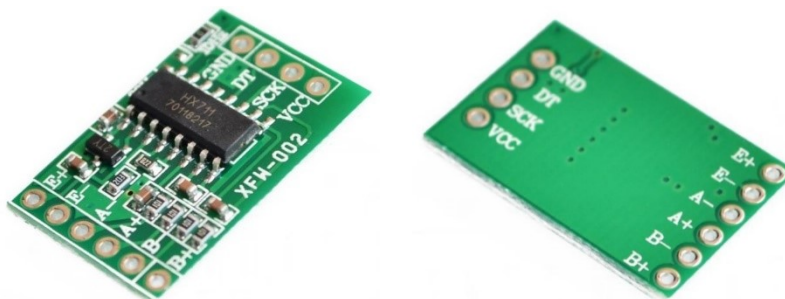
Slouží k měření hmotnosti nádoby včetně vzorků. Používá tenzometr k měření napětí na povrchu zatěžovaného kvádrů. Rozsah měření od 0 až do 1 Kg.



Obr. 33 Senzor váhy 1Kg [16]

AD Převodník

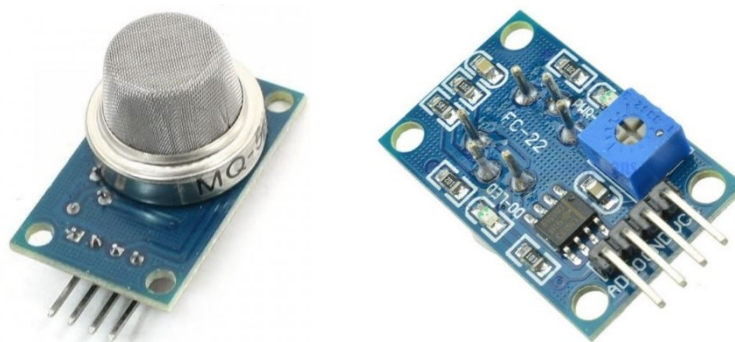
Slouží k převodu analogového signálu z váhového senzoru na digitální signál. Tento signál dále putuje do řídicí jednotky.



Obr. 34 AD převodník HX711 [17]

Detektor plynu

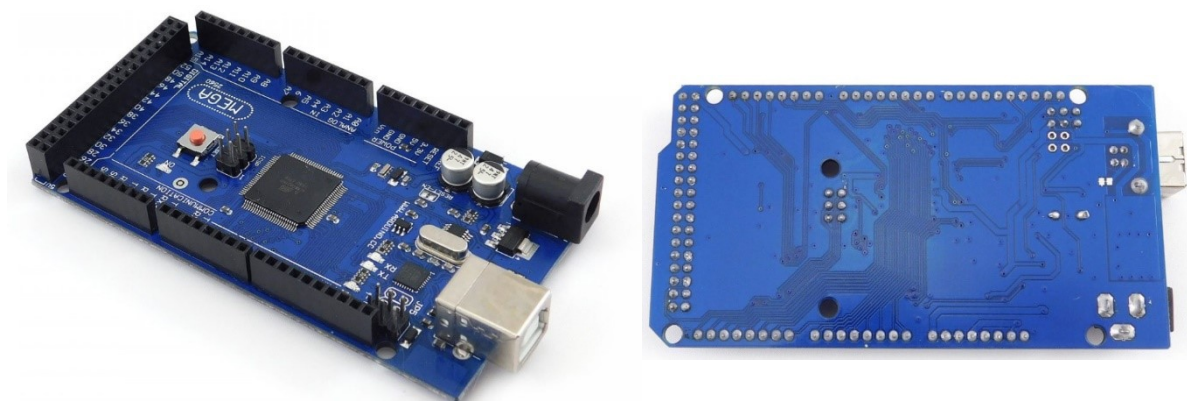
Pro detekci plynu jsem vybral Senzor MQ-5. Dokáže detekovat plyny H_2 , LPG, CH_4 a CO. Díky tomu je velice multifunkční. Bohužel musí se nejprve tzv. „zahřát“, aby fungoval správně.



Obr. 35 Senzor plynů MQ-5 [18]

Řídicí jednotka

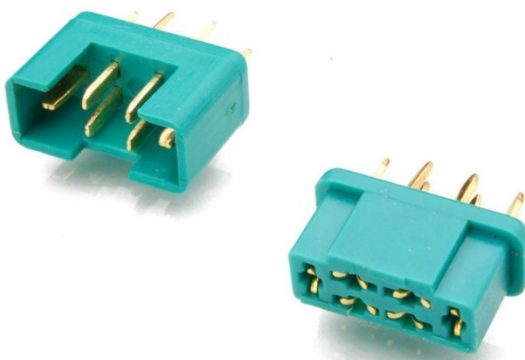
Jako řídicí jednotku jsem vybral klon Arduino MEGA od firmy ESES. Tato volba byla jednoznačná, kvůli množství potřebných pinů. Disponuje 54 digitálními piny a 16 analogovými piny.



Obr. 36 Klon Arduino MEGA [19]

Konektory

Slouží jak k přenosu elektrického signálu, tak pro přenos elektrické energie mezi nádobou a dokovací stanicí. Díky tomu může být nádoba jednoduše vyjmuta.



Obr. 37 Konektor MPX M6 [20]

Ostatní komponenty

Spojovací materiál (šrouby, matice ...)

Konstrukční materiál (plech, ocelový obdélníkový profil a čepy)

Pojistné kroužky

Filament do tiskárny

Stahovací pásy

O-kroužek (NBR 70 – 63,00 x 1,50) [21]

Step-Down Voltage Regulator D24V150F5 [22]

9 Popis měřených veličin a způsob jejich měření

Podle zadání bakalářské práce musím měřit minimálně 3 fyzikální, nebo chemické parametry půdy. Dále pak ještě hmotnost odebraného vzorku. Veškeré informace ze senzorů půjdou do řídicí jednotky. Po zpracování se pošlou v reálném čase operátorovi, který všechny informace uvidí pohromadě na jednom monitoru.

Hmotnost

Hmotnost se definuje jako základní vlastnost hmoty, která vyjadřuje velikost setrvačných nebo gravitačních účinků. Vzorek půdy měřím pomocí váhového senzoru Obr. 33. Senzor bude umístěn v dokovací stanici. Na senzor bude působit celá nádoba včetně všech komponent. Pro jednoduché připojení nádoby je vytvořena dokovací plocha. Tato plocha bude pevně spojena k senzoru pomocí šroubů. Senzor musí být zkalibrován na všechny tyto dodatečné hmotnosti. Díky tomu dostane operátor přesné informace o hmotnosti vzorku.

Teplota

Teplota je základní fyzikální veličina, která charakterizuje stav dané látky. Pro měření používám vodotěsný teploměr s teplotním čidlem DS18B20 Obr. 30. Samotné čidlo převádí teplotu na digitální signál. Pro správné fungování musí být externě napájen.

Vlhkost

Základní vlastnost půdy. Udává množství vody obsažené ve vzorku. Měření provádím pomocí půdního vlhkoměru Obr. 31. Obsahuje kapacitní senzor, který díky působení vlhkosti zvyšuje nebo snižuje svou kapacitu. Ta se měří a převádí na měřitelný analogový výstup.

Barva

Vlastnosti barvy se určují na základě odrazivosti světla od dané barvy. Měření provádím pomocí detektoru barvy Obr. 32. Tento detektor má 4 diody, při měření se rozsvítí a osvítí danou látku. Určitá část světla bude pohlcena, zbytek se odrazí do světelného čidla, který je připojen do řídicí jednotky.

Obsah plynu

Jako senzor používám MQ-5 Obr. 35. Dokáže detekovat plyny H_2 , LPG, CH_4 a CO. Zjišťuje koncentraci v reálném čase od 100 do 10000 ppm.

10 Kontrolní výpočty

Jako první je potřeba kontrolovat pružiny. Poté čepy, které jsou namáhány na ohyb smyk a otlačení. Jelikož je smykové napětí oproti ohybovému napětí velmi malé, může se zanedbat. Dále pak ložiska a v neposlední řadě tištěné součásti, které budou mechanicky namáhané. Všechny vzorce jsem dohledal ze skript části a mechanismy strojů. [23]

10.1 Výpočet pružin

Tyto pružiny udržují vzorek půdy bezpečně uvnitř nádoby bez použití složitého mechanismu. Pružiny musí být předepnuty, aby od začátku vyvozovaly potřebnou sílu a zároveň se musí ještě otevřít o 90°. Předepnutí pružiny volím 50°. Pružiny jsou pořízeny od výrobce Gutekunst Federn [11], [12]. Tento výrobce má na svém webu přímo kalkulačtor na své pružiny Obr. 39. V nádobě jsou použity dvě pružiny.

$$F_h = m \cdot g \quad (2)$$

$$F_h = 0.1 \cdot 9,81$$

$$F_h = 0.981 \text{ N}$$

F_h – síla na víko od odebraného vzorku [N]

m – maximální hmotnost odebraného vzorku [Kg]

g – gravitační zrychlení [m/s^2]

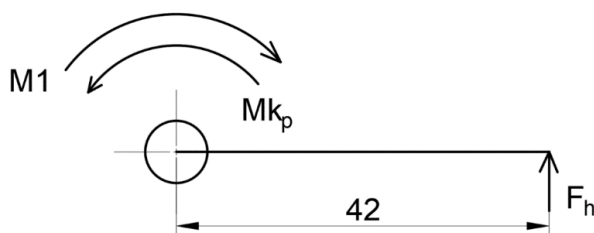
$$Mk_p = F_h \cdot x \quad (3)$$

$$Mk_p = 0,91 \cdot 42$$

$$Mk_p = 38,22 \text{ Nmm}$$

x – vzdálenost působící síly F_h od osy čepu [mm]

Mk_p – krouticí moment od odebraného vzorku půdy [Nmm]



Obr. 38 Schéma průběhu sil

$$k_1 = \frac{M1 \cdot 2}{Mk_p} \quad (4)$$

$$k_1 = \frac{75,636 \cdot 2}{38,22}$$

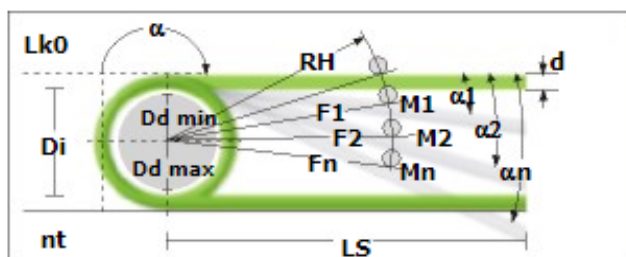
$$k_1 = 3,96 [-]$$

$M1$ – krouticí moment vyvolující jedna pružina [Nmm]

k_1 – koeficient bezpečnosti pružin [-]

Pružiny zajistí vzorky půdy s dostatečnou bezpečností $k_1 = 3,96 [-]$.

Zkrutné pružiny T-18686L



Prestressed spring:

Alpha1 (°):	50
RH (mm):	1
M1 (Nmm):	75,636
F1 (N):	75,636

Úhel otáčení předepjaté pružiny
Vzdálenost od středu tělesa pružiny po bod přivádění síly ramena páky
Točivý moment předepjaté pružiny
Síla předepjaté pružiny

Loaded Spring:

Alpha2 (°):	140
RH (mm):	1
M2 (mm):	211,781
F2 (N):	211,781

Úhel otáčení napnuté pružiny
Vzdálenost od středu tělesa pružiny po bod přivádění síly ramena páky
Točivý moment napnuté pružiny
Síla napnuté pružiny

Obr. 39 Výpočet zkrutné pružiny [12]

10.2 Kontrola horního čepu

Tento čep slouží k otevírání víka nádoby. Zatěžování způsobuje lano, které přenáší sílu od servomotoru až k víku. Síla do čepu se v průběhu otevírání víka mění. Kvůli velké síle pružiny zanedbávám hmotnost víka, dále zanedbávám sílu od zrychlení otevírání nádoby.

Příklad výpočtu při pozici pružiny 100° . Vzniklý úhel mezi působícími silami je $90,88^\circ$ Graf 3.

$$F_{lk} = \frac{M_{kp} \cdot 2}{r_d} \quad (5)$$

$$F_{lk} = \frac{302,544 \cdot 2}{8}$$

$$F_{lk} = 37,818 \text{ N}$$

F_{lk} – potřebná kolmá síla lana v dané poloze [N]

M_{kp} – kroutící moment pružiny v dané poloze [Nmm]

r_d – vzdálenost mezi středem čepu a ukotvení lana na víku [mm]

$$F_l = \frac{F_{lk}}{\sin(\arcsin(\frac{r_o}{r_d}))} \quad (6)$$

$$F_l = \frac{37,818}{\sin(\arcsin(\frac{5,25}{8}))}$$

$$F_l = 57,63 \text{ N}$$

F_l – potřebná síla lana v dané poloze [N]

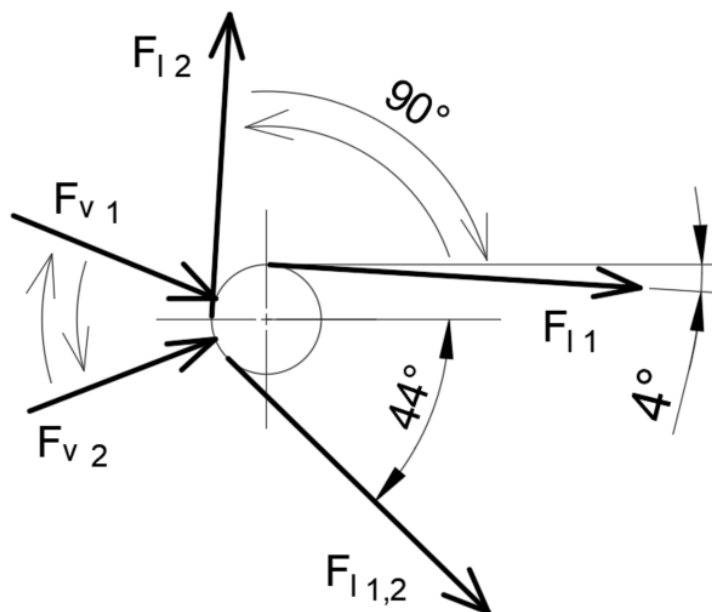
$$F_v = \sqrt{F_l^2 + F_l^2 + 2 \cdot F_l \cdot F_l \cdot \cos 90,88} \quad (7)$$

$$F_v = \sqrt{57,63^2 + 57,63^2 + 2 \cdot 57,63 \cdot \cos 90,88}$$

$$F_v = 80,87 \text{ N}$$

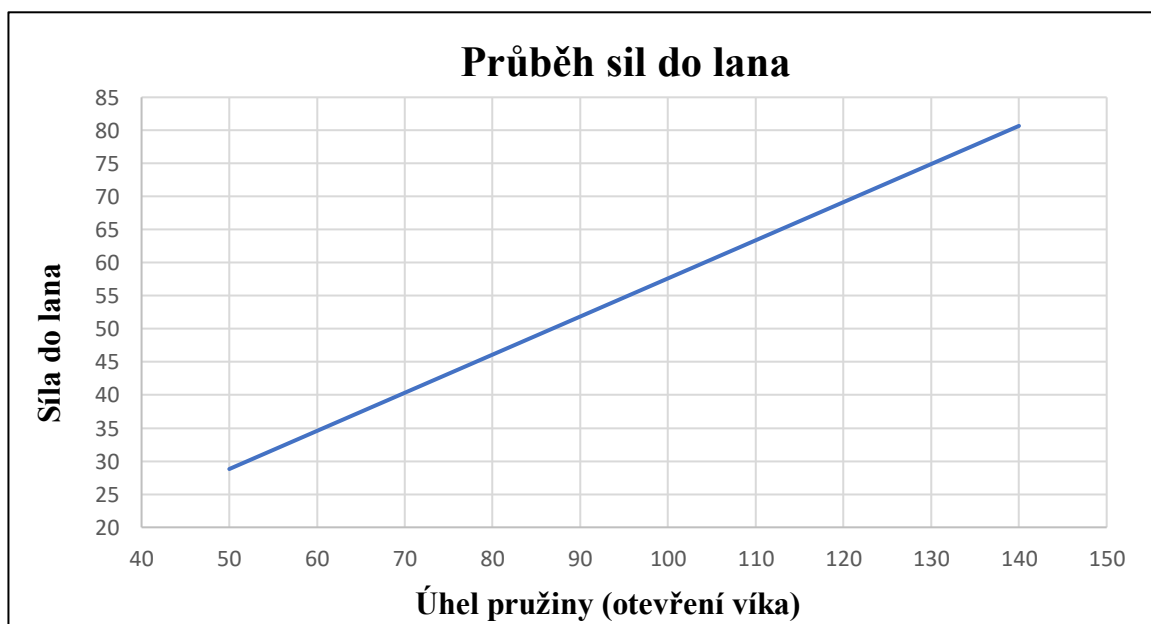
F_v – síla působící do čepu [N]

Na Obr. 40 je vidět rozklad sil na horním čepu. Síla F_{I1} se v průběhu pohybu (otevírání víka) postupně mění na F_{I2} . $F_{I1,2}$ zůstává na stejné poloze, jen se mění její hodnota v závislosti na F_{I1} a F_{I2} . Z daného průběhu jsem ke každé poloze provedl vektorový součet, jehož výsledky jsou zaznamenány v grafu. Graf 3 vznikne měnící se síla F_{V1} na F_{V2} . Dále počítám s největší silou v intervalu od F_{V1} do F_{V2} .

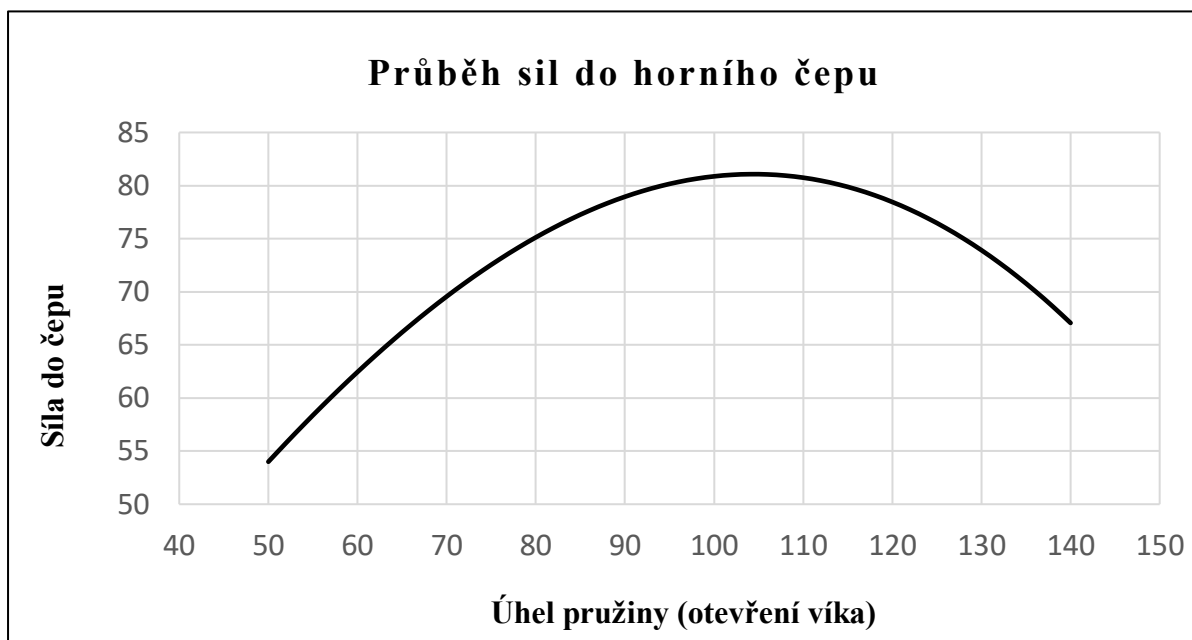


Obr. 40 Schéma průběhu sil na horní čep

Pro daný rozsah pohybu jsem si vypsál hodnoty pružiny z kalkulátoru výrobce po 2° . Tyto hodnoty jsem zanesl do programu Excel. Vytvořil jsem tabulku, u které jsem dopočítal síly. Z těchto sil jsem vytvořil graf 3, který nejlépe ukazuje celkový průběh zatížení.



Graf 2 Průběh sil do lana



Graf 3 Průběh sil do horního čepu

Výpočet horního čepu na ohyb

$$M_{oMAX} = \frac{F_{vmax}}{2} \cdot \frac{l}{2} \quad (8)$$

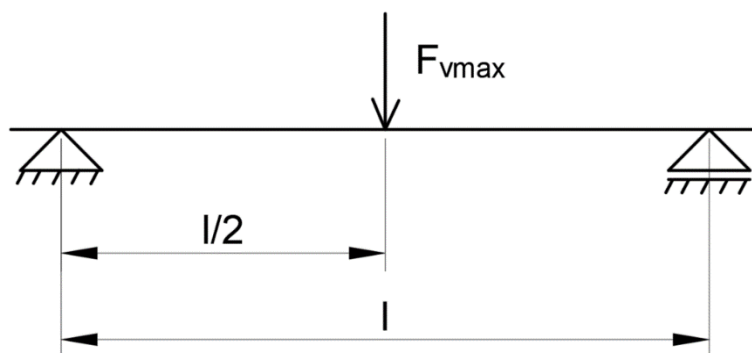
$$M_{oMAX} = \frac{82}{2} \cdot \frac{45}{2}$$

$$M_{oMAX} = 922,5 \text{ [Nmm]}$$

l – vzdálenost mezi podporami [mm]

F_{vmax} – maximální síla působící na čep viz. Graf 3 zaokrouhlena na nejbližší vyšší číslo [N]

M_{oMAX} – maximální ohybový moment [Nmm²]



Obr. 41 Schéma průběhu síly na horní čep

Materiál čepu: ČSN 11 373, $\sigma_{DO} = 110\text{MPa}$, $k_2 = 2$

$$\sigma_O = \frac{M_{oMAX} \cdot 2}{\frac{\pi d^3}{32}} \leq \sigma_{DO} \quad (9)$$

$$d' = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{oMAX} \cdot k_1}{\pi \cdot \sigma_{DO}}} \quad (10)$$

$$d' = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 922,5 \cdot 2}{\pi \cdot 110}}$$

$$d' = 5,55 \Rightarrow d = 6 \text{ [mm]}$$

σ_{DO} – Dovolené napětí v ohybu pro mívivý cyklus [Mpa]

σ_o – napětí v ohybu [Mpa]

d' – předběžně vypočítaný průměr horního čepu [mm]

d – zvolený průměr horního čepu [mm]

π – Ludolfovo číslo [-]

k_2 – zvolená bezpečnost horního čepu [-]

Kontrola horního čepu na otlačení

Dovolený tlak oceli $p = 30 \text{ [MPa]}$

$$p_{hč} = \frac{F_{vmax}}{2 \cdot d \cdot b_1} \quad (11)$$

$$p_{hč} = \frac{82}{2 \cdot 6 \cdot 3}$$

$$p_{hč} = 2,28 \leq 30 \text{ [MPa]}$$

$p_{hč}$ – tlak na horní čep [MPa]

d – zvolený průměr čepu [mm]

b_1 – šířka podpor [mm]

10.3 Výpočet prostředního čepu

Tento čep slouží jako opora pro lano. Zatěžování způsobuje lano, které přenáší sílu od servomotoru až k víku. Směr síly do čepu se nemění. Mění se pouze velikost. Pro výpočet počítám s největší možnou silou v laně F_{lmax} viz. Graf 2.

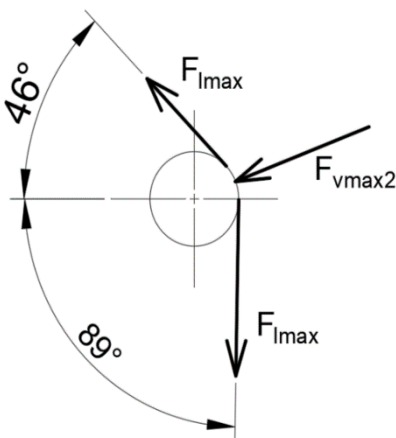
$$F_{vmax2} = \sqrt{F_{lmax}^2 + F_{lmax}^2 + 2 \cdot F_{lmax} \cdot F_{lmax} \cdot \cos 90,88} \quad (12)$$

$$F_{vmax2} = \sqrt{81^2 + 81^2 + 2 \cdot 81 \cdot \cos 90,88}$$

$$F_{vmax2} = 62 \text{ N}$$

F_{vmax2} – maximální síla působící do prostředního čepu [N]

F_{lmax} – maximální síla v laně viz. Graf 2 zaokrouhlena na nejbližší větší celé číslo[N]



Obr. 42 Schéma průběhu sil na prostřední

Kontrola prostředního čepu na ohyb

$$M_{oMAX2} = \frac{F_{vmax2}}{2} \cdot \frac{l_2}{2} \quad (13)$$

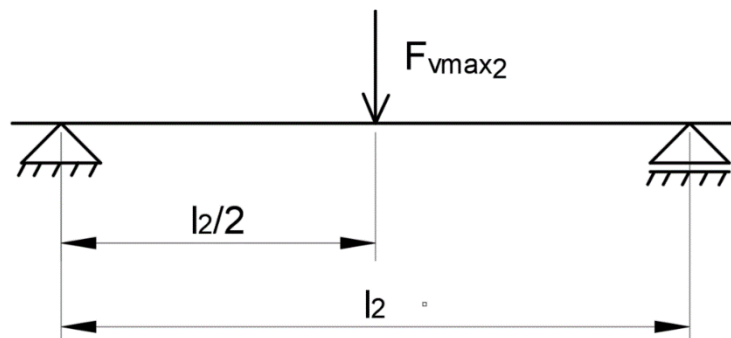
$$M_{oMAX2} = \frac{62}{2} \cdot \frac{15}{2}$$

$$M_{oMAX2} = 232,5 \text{ [Nmm]}$$

l_2 – vzdálenost mezi podporami [mm]

F_{vmax2} – maximální možná síla působící na čep [N]

M_{oMAX2} – maximální ohybový moment [Nmm²]



Obr. 43 Schéma průběhu síly na prostřední čep

Materiál čepu: ČSN 11 373, $\sigma_{DO} = 110MPa$, $k_3 = 2$

$$\sigma_O = \frac{M_{oMAX2} \cdot 2}{\frac{\pi d_2^3}{32}} \leq \sigma_{DO} \quad (14)$$

$$d'_2 = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{oMAX2} \cdot k_2}{\pi \cdot \sigma_{DO}}} \quad (15)$$

$$d'_2 = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 232,5 \cdot 2}{\pi \cdot 110}}$$

$$d'_2 = 3,51 \Rightarrow d_2 = 4 \text{ mm}$$

σ_{DO} – Dovolené napětí v ohybu pro mívivý cyklus [*Mpa*]

σ_O – napětí v ohybu [*Mpa*]

d'_2 – předběžně vypočítaný průměr prostředního čepu [*mm*]

d_2 – zvolený průměr prostředního čepu [*mm*]

π – Ludolfovo číslo [-]

k_3 – zvolená bezpečnost prostředního čepu [-]

Kontrola prostředního čepu na otlačení

Dovolенý tlak oceli $p = 30$ [*MPa*]

$$p_{p\check{c}} = \frac{F_{lmax}}{2 \cdot d_2 \cdot b_2} \quad (16)$$

$$p_{h\check{c}} = \frac{81}{2 \cdot 4 \cdot 5}$$

$$p_{h\check{c}} = 2.03 \leq 30 \text{ [MPa]}$$

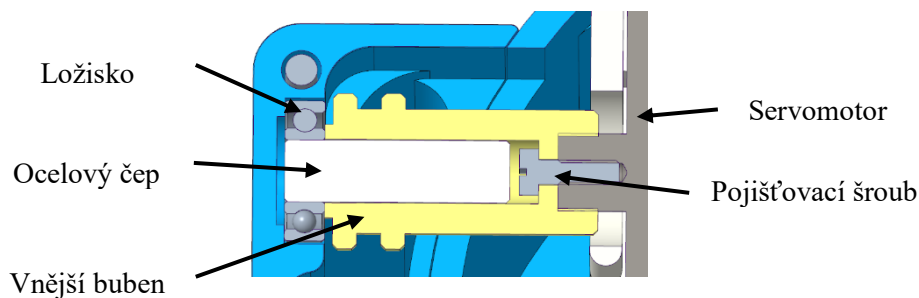
$p_{p\check{c}}$ – tlak na prostřední čep [*MPa*]

d_2 – průměr čepu [*mm*]

b_2 – šířka podpor [*mm*]

10.4 Pevnostní kontrola navijáku

Naviják se skládá z dvou komponent různého tvaru a materiálu Obr. 44. Tudíž si ho pro zjednodušení nahradím jen střední hřídelí stejného průřezu, která se bude kontrolovat.



Obr. 44 Naviják

Stanovení sil ve vazbách

$$M_{oA} = 0: -F_{lmax} \cdot x_1 + F_b \cdot (x_1 + x_2) = 0 \rightarrow F_b \quad (17)$$

$$F_b = \frac{F_{lmax} \cdot x_1}{x_1 + x_2}$$

$$F_b = \frac{81 \cdot 4}{4 + 13}$$

$$F_b = 19,06 \text{ [N]}$$

M_{oA} – momentová rovnováha k podpoře A [Nmm]

F_b – reakce v podpoře A [N]

x_1 – vzdálenost síly F_{lmax} od podpory A [mm]

x_2 – vzdálenost síly F_{lmax} od podpory B [mm]

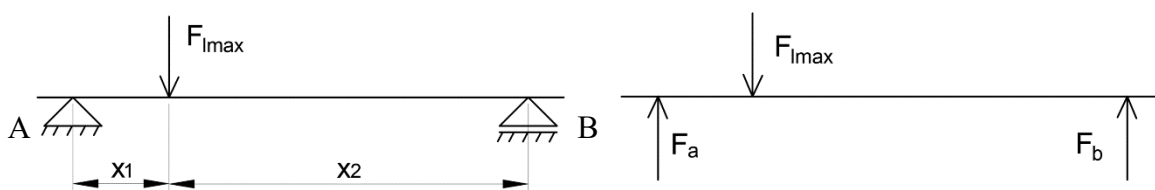
$$\sum F = 0: F_a - F_{lmax} + F_b = 0 \rightarrow F_a \quad (18)$$

$$F_a = F_{lmax} - F_b$$

$$F_a = 81 - 19,06$$

$$F_a = 61,94 \text{ [N]}$$

F_a – reakce v podpoře A [N]



Obr. 45 Průběh sil v navijáku

10.5 Kontrola horního víka

Jako první jsem provedl kontrolu síly od lana. Síla působí v otvoru pro lano, je vedena k tečně k vnější drážce díry pro čep. Tuto sílu jsem volil maximální možnou, vyplývá z Graf 2. Ze simulace vyplývá maximální napětí ve víku. Mez pevností pro plast PLA je 33 [MPa]. [24]

$$\sigma_{dPLA} = \frac{R_m}{k_4} \quad (19)$$

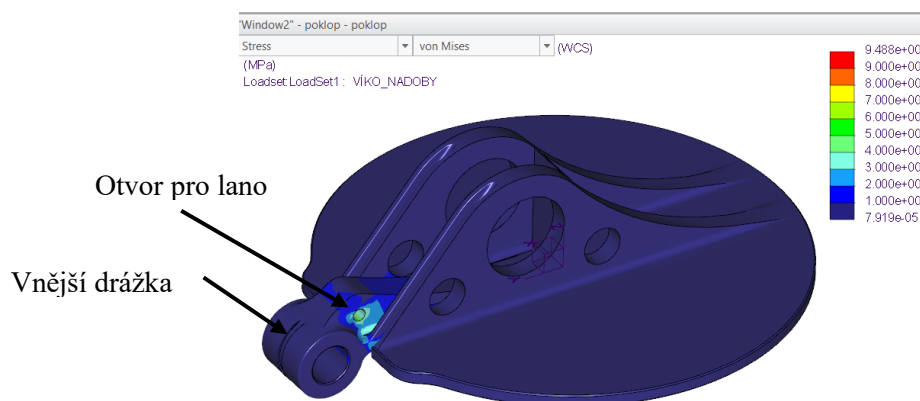
$$\sigma_{dPLA} = \frac{33}{3}$$

$$\sigma_{dPLA} = 11 \geq 9,488 \text{ [MPa]}$$

σ_{dPLA} – dovolené napětí pro plast PLA [MPa]

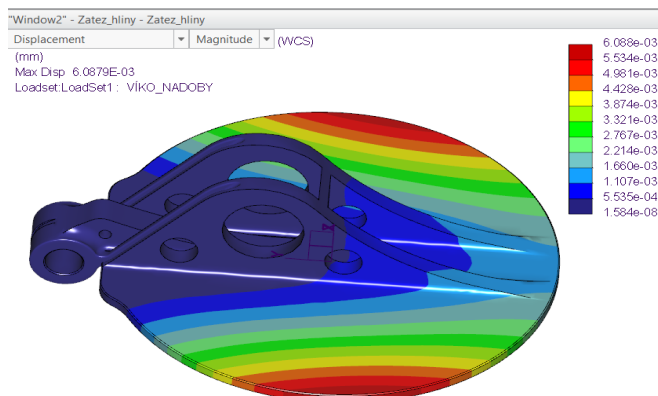
R_m – mez pevnosti pro plast PLA [MPa]

k_4 – míra bezpečnosti houževnatých materiálů [-]



Obr. 46 Kontrola horního víka od síly lana

Pro dané víko jsem provedl kontrolu na průhyb. Zatěžovaná síla byla od vzorku půdy, poloha nádoby je dnem vzhůru. Síla od zatěžování vzorku je 0,981 N (I). Na Obr. 47 lze vidět maximální průhyb, který je 0,006 [mm]. Ten bude kompenzován těsnícím O-kroužkem. Maximální napětí bylo velmi malé, proto jsem ho zanedbal.



Obr. 47 Kontrola horního víka od tíhové síly vzorku

10.6 Kontrola ložisek

Ložiska se testují na statickou a dynamickou bezpečnost. Statická únosnost ložiska C_{or} se používá pro výpočet, jestliže ložiska:

- se otáčejí s velmi nízkou rychlostí otáčení ($n < 10 \text{ min}^{-1}$)
- provádějí velmi pomalé oscilační pohyby
- se pod zatížením nepohybují určitou delší dobu. [25]

Použitá ložiska jsou testována pouze staticky, protože nesplňují základní požadavky pro dynamický výpočet.

10.6.1 Horní ložiska

Do nádoby jsem použil dvě ložiska W 627/6-2Z. Slouží k snadnějšímu pohybu víka.

$$k_5 = \frac{C_{oh}}{\frac{F_{vmax}}{2}} \quad (20)$$

$$k_5 = \frac{112}{\frac{82}{2}}$$

$$k_5 = 2,73 [-]$$

k_5 – výsledná bezpečnost horních ložisek [-]

C_{0h} – základní statická únosnost horních ložisek Obr. 48 [N]

Data výpočtu

Základní dynamická únosnost	C	0.286	kN
Základní statická únosnost	C_0	0.112	kN
Mezní únavové zatížení	P_u	0.005	kN
Referenční otáčky		120000	r/min
Mezní otáčky		60000	r/min
Výpočtový součinitel	k_f	0.015	
Výpočtový součinitel	f_0	7.8	

Obr. 48 Data pro ložisko W 627/6-2Z [26]

10.6.2 Spodní ložisko

Pro naviják jsem použil ložisko 618/4. Slouží k snadnějšímu pohybu navijáku. Kompenzuje ohybový moment, který by jinak vznikl velkým vysunutím působící síly do servomotoru.

$$k_6 = \frac{C_0}{F_a} \quad (21)$$

$$k_6 = \frac{116}{61,94}$$

$$k_6 = 1,87 [-]$$

k_6 – výsledná bezpečnost spodního ložiska [-]

C_{0s} – základní statická únosnost spodního ložiska Obr. 49 [N]

Data výpočtu			
Základní dynamická únosnost	C	0.423	kN
Základní statická únosnost	C_0	0.116	kN
Mezní únavové zatížení	P_u	0.005	kN
Referenční otáčky		140000	r/min
Mezní otáčky		85000	r/min
Výpočtový součinitel	k_r	0.015	
Výpočtový součinitel	f_0	6.5	

Obr. 49 Data pro ložisko 618/4 [27]

10.7 Kontrola servomotoru

Slouží k vyvození kroutícího momentu, který je přeměněn na tahovou sílu v laně. Tah motoru při 4,8 [V] je 4,8 [kg · cm]. To je po přepočtu 470,72 [Nmm]. Tato hodnota bude ještě vyšší vlivem většího napětí a to 5 [V]. [10]

$$Mk_l = F_{lmax} \cdot r_b \quad (22)$$

$$Mk_l = 81 \cdot 4$$

$$Mk_l = 324 [Nmm]$$

M_{k1} – kroutící moment od lana na navijáku [Nmm]

r_b - poloměr navíjecího bubnu [mm]

$$k_7 = \frac{Mk_{mmax}}{Mk_l} \quad (23)$$

$$k_7 = \frac{470,72}{324}$$

$$k_7 = 1,45 [-]$$

k_7 – výsledná bezpečnost servo motoru [-]

Mk_{mmax} – maximální kroutící moment motoru při 4,8 [V] [Nmm]

11 Cenové zhodnocení

V tabulce jsem uvedl jednotlivé ceny kupovaných komponentů. Veškeré ostatní materiály jako jsou šrouby, matice, filament a další je zahrnuto do jedné kolonky pod názvem ostatní. Jednotlivé ceny výrobků se mohou lišit od zvoleného prodejce. U některých položek je množství menší, než je minimální odběr (plexisklo), proto je v tabulce uvedena cena za minimální množství, které se dá koupit. Do celkové ceny nejsou započítány pracovní hodiny, ceny opracování materiálu ani náklady na dopravu.

Tabulka 7 Cenové zhodnocení

Komponent	Označení	Počet kusů [-]	Cena za ks [Kč]	Cena celkem [Kč]
Servomotor	PDI-2105MG Slim	4	439,-	1756,-
Ložisko	618/4	4	191	764,-
Ložisko	W 627 6-2Z	8	397	3176,-
Pružina	T-18686L	4	73,-	292,-
Pružina	T-18686P	4	73,-	292,-
Teploměr	-	4	99,-	396,-
Půdní vlhkoměr	-	4	185,-	740,-
Detektor barvy	-	4	171,-	684,-
Váhový senzor	Váhový senzor 1kg	4	149,-	596,-
AD převodník	HX711	4	77,-	308,-
Detektor plynu	MQ5	4	108,-	432,-
Řídící jednotka	Arduino MEGA	1	761,-	761,-
Konektor pár	MPX 6	4	47,-	188,-
Volt regulátor	D24V150F4	1	1278,-	1278,-
O-kroužek	NBR 70 - 63.00 x 1.49	3	19,-	57,-
Uzavřený hliníkový profil	Obdélníkový 25x15x1,5	397 mm	25,-	25,-
Plexisklo	Plexisklo GUTTA Hobbyglas polystyrol	500 x 250 x 2 mm	69,-	69,-
Ostatní	-	-	300,-	300,-
			Celkem	12114,-

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout modul pro ukládání sypkých hmot a jejich testování. Tento modul je umístěn v Roveru, jenž se účastní soutěže ERC (European Rover Challenge). Tato soutěž má za úkol otestovat vytvořený Rover a všechny jeho moduly.

V první části jsem se věnoval rešerši pro uchovávání vzorků půdy, převážně u vesmírných letů na jiné objekty. Takto jsem se mohl inspirovat nejnovějšími technologiemi, které jsou použity. Dalším mým vodítkem byla analýza současného stavu na Roveru, který již soutěžil.

Z těchto poznatků a požadavků byly vytvořené tři varianty modulů, tj. nádoba včetně zásobníku. Dvě varianty jsou primárně určené k použití na vnější straně roveru jedna pak přímo uvnitř.

Jako optimální varianta pomocí kritériální analýzy byla vyhodnocena varianta 2. Tato varianta je umístěna přímo v Roveru což má mnoho pozitivních atributů. Jednou z nich je vyšší tuhost, lepší pozice těžiště a další. Varianta byla vypracována v programu PTC Creo a zkontrolována pomocí výpočtů. Celý návrh splňuje stanovené požadavky a je dimenzován s dostatečnou bezpečností.

Pro daný modul jsem dále vypracoval i schematické zapojení v programu KiCad příloha J a T, toto zapojení se bude používat přímo při sestavování nádob. Nádoby budou vytvořeny a otestovány v reálném prostředí. Nejtěžší zkouška přijde na soutěžit ERC.

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Robertu Pastorovi za cenné rady a připomínky při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat všem ostatním, kteří mi poradili nebo mě podpořili při vypracování této práce.

Použitá literatura

- [1] Vyhledávání ASPI | epravo.cz. EPRAVO.CZ – Váš průvodce právem - Sběrka zákonů, judikatura, právo [online]. Copyright © EPRAVO.CZ, a.s. 1999 [cit. 29.04.2019]. Dostupné z: <https://www.epravo.cz/vyhledavani-aspi/?Id=36722&Section=1&IdPara=1&ParaC=2>
- [2] BOZP: Skladovací zařízení sypkých hmot - zásobníky. Profi.cz [online]. [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: https://www.bozpprofi.cz/33/skladovaci-zarizeni-sypkych-hmot-zasobniky-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EukDBu01DoR9UiZwSaonKLxZwRYsMFH_3w/
- [3] Ucebnice.Remediace.CZ. Ucebnice.Remediace.CZ [online]. Copyright © 2010 [cit. 29.04.2019]. Dostupné z: <http://ucebnice.remediace.cz/default.asp?oid=03020100002&fid=140>
- [4] Laboratoř Opočno [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: [online]. Copyright © 2011 [cit. 29.04.2019]. Dostupné z: <http://www.laborator-opocno.cz/>
- [5] Curiosity's soil sample analysis reveals no surprises. New Atlas - New Technology & Science News [online]. Copyright © Gizmag Pty Ltd 2019 [cit. 29.04.2019]. Dostupné z: <https://newatlas.com/mars-rover-curiosity-soil-analysis-sam-chemin/25293/>
- [6] PlanetVac: Sampling other worlds | The Planetary Society. Home | The Planetary Society [online]. Copyright © 2019 The Planetary Society. All rights reserved. [cit. 29.04.2019]. Dostupné z: <http://www.planetary.org/explore/projects/planetvac/>
- [7] EXTREMETECH: NASA, ESA Aim to Bring a Piece of Mars Back to Earth [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.extremetech.com/extreme/268397-nasa-esa-aim-to-bring-a-piece-of-mars-back-to-earth>
- [8] NASA Developing Comet Harpoon for Sample Return - Clarksville, TN Online. Clarksville, TN Online - Clarksville News: Clarksville Online covers news, events, and sports for the Clarksville-Montgomery County area. The voice of Clarksville Tennessee. - Local news, events, information, opinion, and politics for Clarksville Tennessee. [online]. Copyright © 2006 [cit. 29.04.2019]. Dostupné z: <http://www.clarksvilleonline.com/2011/12/19/nasa-developing-comet-harpoon-for-sample-return/>
- [9] Pohled pod kůží: OSIRIS-REx (odběrné zařízení) | www.kosmonautix.cz. www.kosmonautix.cz | Novinky ze světa kosmonautiky[online]. Copyright © [cit. 29.04.2019]. Dostupné z: <https://www.kosmonautix.cz/2016/11/pohled-pod-kuzi-osiris-rex-odberne-zarizeni/>

- [10] JX servo PDI-2105MG Slim (digital) 21g/0,13sec/5,8kg | BIGHOBBY. BIGHOBBY [online]. Dostupné z: <https://www.bighobby.cz/JX-servo-PDI-2105MG-Slim-digital-21g-0-13sec-5-8kg-d2681.htm>
- [11] Zkrutné pružiny: T-18686L - Verboten: Zugriff verweigert.. Zkrutné pružiny: T-18686L - Verboten: Zugriff verweigert. [online]. Dostupné z: https://www.federnshop.com/cz/katalog_pru%C5%BEin/zkrutn%C3%A9_pru%C5%BEiny/t-18686l.html
- [12] Zkrutné pružiny: T-18686R - Verboten: Zugriff verweigert.. Zkrutné pružiny: T-18686R - Verboten: Zugriff verweigert. [online]. Dostupné z: https://www.federnshop.com/cz/katalog_pru%C5%BEin/zkrutn%C3%A9_pru%C5%BEiny/t-18686r.html
- [13] Arduino teploměr vodotěsný | arduino-shop.cz. Arduino-shop.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM [online]. Copyright © Copyright ECLIPSERA s.r.o. [cit. 06.05.2019]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/848-arduino-teplomer-vodotesny.html>
- [14] Analogový snímač vlhkosti půdy V1.2 | arduino-shop.cz. Arduino-shop.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM [online]. Copyright © Copyright ECLIPSERA s.r.o. [cit. 06.05.2019]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/4875-analogovy-snimac-vlhkosti-pudy-v1.2.html>
- [15] Arduino detektor barvy | arduino-shop.cz. Arduino-shop.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM [online]. Copyright © Copyright ECLIPSERA s.r.o. [cit. 06.05.2019]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/890-arduino-detektor-barvy.html>
- [16] Váhový senzor 1kg | arduino-shop.cz. Arduino-shop.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM [online]. Copyright © Copyright ECLIPSERA s.r.o. [cit. 06.05.2019]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/2205-vahovy-senzor-1kg.html>
- [17] Arduino AD převodník 24-bit 2 kanály HX711 | arduino-shop.cz. Arduino-shop.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM [online]. Copyright © Copyright ECLIPSERA s.r.o. [cit. 06.05.2019]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/998-arduino-ad-prevodnik-24-bit-2-kanaly-hx711.html>
- [18] Senzor plynů MQ5 MQ-5 pro Arduino | arduino-shop.cz. Arduino-shop.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM [online]. Copyright © Copyright ECLIPSERA s.r.o. [cit. 06.05.2019]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/4870-senzor-plynu-mq5-mq-5-pro-arduino.html>

- [19] Klon Arduino Mega s CH340G Atmega2560-16AU | arduino-shop.cz. Arduino-shop.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM[online]. Copyright © Copyright ECLIPSE s.r.o. [cit. 06.05.2019]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/1313-klon-arduino-mega-s-ch340g-atmega2560-16au.html>
- [20] MPX M6 ORIGINAL MULTIPLEX konektor 1 pár. TOPMODEL CZ [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: https://www.topmodelcz.cz/index.php?&desktop_back=eshop&action_back=zbozi_detail&id_back=11428&desktop=eshop&action=zbozi_detail&id=161571
- [21] O-kroužek Dichtomatik NBR 70 - 63.00 x 1.50 | Mateza.cz. E-shop s ložisky a dalšími strojními součástmi | Mateza.cz [online]. Copyright © [cit. 06.05.2019]. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/e-shop/o-krouzek-dichtomatik-nbr-70-063-00-x-1-50>
- [22] Pololu 5V, 15A Step-Down Voltage Regulator D24V150F5 - Snail Shop. Snail Shop [online]. Dostupné z: <http://www.snailshop.cz/snizujici/2225-pololu-5v-15a-step-down-voltage-regulator-d24v150f5.html>
- [23] KALÁB, Květoslav. Části a mechanismy strojů pro bakaláře [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008 [cit. 2019-04-26]. ISBN 978-80-248-1860-3.
- [24] Specialista v plastech a Váš partner pro dodávky plastových polotovarů a výrobků | AK Plast s.r.o. [online]. Copyright © B [cit. 06.05.2019]. Dostupné z: http://www.akplast.cz/admin/files/ck/files/TechData/PLA-LF_mat_list.pdf
- [25] 5. Určení velikosti ložiska | ZKL Group. ZKL Group [online]. Copyright © 2012 ZKL, a.s. [cit. 06.05.2019]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/cs/pro-konstruktery/5-urceni-velikosti-loziska>
- [26] Kuličková ložiska - W 627/6-2Z. [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 06.05.2019]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=W%20627/6-2Z&unit=metricUnit>
- [27] Kuličková ložiska - 618/4. [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 06.05.2019]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=618/4&unit=metricUnit>

Seznam příloh

Příloha A: Tabulka výpočtů síly na horní čep pro Graf 3

Přiložený CD

Příloha B: Step celkový modul
Příloha C: STL Tělo nádoby
Příloha D: STL Držák servomotoru
Příloha E: STL Dno nádoby
Příloha F: STL Víko nádoby
Příloha G: STL Naviják
Příloha H: STL Střední část nádoby
Příloha I: STL Dokovací plocha
Příloha J: Zapojení modulu
Příloha K: Dokumentace PDF
Příloha L: Textová část práce
Příloha M: Záznam o závěrečné práci

Dokumentace

Příloha N: Sestavný výkres: BEM0008-2019
Příloha O: Podsestavný výkres zásobník BEM0008-2019-01
Příloha P: Podsestavný výkres nádoba BEM0008-2019-02
Příloha Q: Výkres obdélníkového profilu BEM0008-2019-01-01
Příloha R: Výkres plexiskla BEM0008-2019-01-02
Příloha S: Výkres horního čepu BEM0008-2019-02-01
Příloha T: Výkres prostředního čepu BEM0008-2019-02-02
Příloha U: Výkres spodního čepu BEM0008-2019-02-03
Příloha V: Zapojení modulu

Příloha A: Tabulka výpočtů síly na horní čep pro Graf 3

Výpočet síly na vrchní čep v určitých polohách							
úhel pružiny	moment pružiny	moment 2 pružin	síla v kolmém směru	potřebná síla	úhel mezi lany	úhel v radiánech	síla na čep
50,00	75,64	151,27	18,91	28,81	40,88	0,71	54,00
52,00	78,66	157,32	19,67	29,97	42,88	0,75	55,78
54,00	81,69	163,37	20,42	31,12	44,88	0,78	57,53
56,00	84,71	169,42	21,18	32,27	46,88	0,82	59,22
58,00	87,74	175,48	21,93	33,42	48,88	0,85	60,86
60,00	90,76	181,53	22,69	34,58	50,88	0,89	62,45
62,00	93,79	187,58	23,45	35,73	52,88	0,92	63,98
64,00	96,81	193,63	24,20	36,88	54,88	0,96	65,46
66,00	99,84	199,68	24,96	38,03	56,88	0,99	66,89
68,00	102,87	205,73	25,72	39,19	58,88	1,03	68,25
70,00	105,89	211,78	26,47	40,34	60,88	1,06	69,56
72,00	108,92	217,83	27,23	41,49	62,88	1,10	70,80
74,00	111,94	223,88	27,99	42,64	64,88	1,13	71,98
76,00	114,97	229,93	28,74	43,80	66,88	1,17	73,09
78,00	117,99	235,98	29,50	44,95	68,88	1,20	74,14
80,00	121,02	242,04	30,25	46,10	70,88	1,24	75,12
82,00	124,04	248,09	31,01	47,25	72,88	1,27	76,03
84,00	127,07	254,14	31,77	48,41	74,88	1,31	76,87
86,00	130,09	260,19	32,52	49,56	76,88	1,34	77,64
88,00	133,12	266,24	33,28	50,71	78,88	1,38	78,33
90,00	136,15	272,29	34,04	51,86	80,88	1,41	78,95
92,00	139,17	278,34	34,79	53,02	82,88	1,45	79,49
94,00	142,20	284,39	35,55	54,17	84,88	1,48	79,95
96,00	145,22	290,44	36,31	55,32	86,88	1,52	80,34
98,00	148,25	296,49	37,06	56,48	88,88	1,55	80,64
100,00	151,27	302,54	37,82	57,63	90,88	1,59	80,87
102,00	154,30	308,59	38,57	58,78	92,88	1,62	81,01
104,00	157,32	314,65	39,33	59,93	94,88	1,66	81,07
106,00	160,35	320,70	40,09	61,08	96,88	1,69	81,05
108,00	163,37	326,75	40,84	62,24	98,88	1,73	80,94
110,00	166,40	332,80	41,60	63,39	100,88	1,76	80,74

112,00	169,43	338,85	42,36	64,54	102,88	1,80	80,46
114,00	172,45	344,90	43,11	65,70	104,88	1,83	80,09
116,00	175,48	350,95	43,87	66,85	106,88	1,87	79,64
118,00	178,50	357,00	44,63	68,00	108,88	1,90	79,09
120,00	181,53	363,05	45,38	69,15	110,88	1,94	78,46
122,00	184,55	369,10	46,14	70,31	112,88	1,97	77,73
124,00	187,58	375,15	46,89	71,46	114,88	2,01	76,91
126,00	190,60	381,21	47,65	72,61	116,88	2,04	76,01
128,00	193,63	387,26	48,41	73,76	118,88	2,07	75,01
130,00	196,65	393,31	49,16	74,92	120,88	2,11	73,92
132,00	199,68	399,36	49,92	76,07	122,88	2,14	72,73
134,00	202,70	405,41	50,68	77,22	124,88	2,18	71,46
136,00	205,73	411,46	51,43	78,37	126,88	2,21	70,09
138,00	208,76	417,51	52,19	79,53	128,88	2,25	68,62
140,00	211,78	423,56	52,95	80,68	130,88	2,28	67,07